

doi: 10.3969/j.issn.1006-1576.2010.09.010

## 装备动员物资供应企业选择双层规划模型

高松, 阮拥军, 于同刚

(军械工程学院 装备指挥与管理系, 河北 石家庄 050005)

**摘要:** 针对装备动员物资非恒定消耗的现实, 以实现物资供应企业数量最小、动员生产开始时间最早为优化目标, 构建了物资供应企业选择双层规划模型。给出装备动员物资供应企业双层规划模型算法的具体步骤, 并以实例对结果进行比较、分析。结果表明, 该模型可选择最少供应企业完成物资调度任务, 实现装备动员的快速响应和经济性目标。

**关键词:** 装备动员; 双层规划; 优化决策

**中图分类号:** O221; N945.15 **文献标识码:** A

## Double-Layer Plan Model for Selection of Material Supply Enterprises in Equipment Mobilization

Gao Song, Ruan Yongjun, Yu Tonggang

(Dept. of Equipment Command &amp; Management, Ordnance Engineering College, Shijiazhuang 050005, China)

**Abstract:** In view of existing situation of non-constant consumption speed in equipment mobilization, in order to realize tow key optimization targets which are minimum quantity of material supply enterprises and commence production in advance, the double-layer plan model for selection of material supply enterprises is set up. The concrete solving process for this model is given, then check the result of this model against others. It shows that through application of the model equipment mobilization will be succeeded by material supply enterprises of minimum quantity quickly and economically.

**Keywords:** equipment mobilization; double-layer plan; optimization decision-making

## 0 引言

在装备动员活动中, 装备动员中心需要多个物资供应企业共同完成动员任务, 同时, 应战应急的物资消耗速率是随事态发展而变化的。因此, 在应战应急物资非恒定消耗情况下, 为实现装备动员快速、可靠与经济的目标, 应在多个物资供应企业中进行选择, 使得装备动员中心在满足装备保障需求的前提下, 所选择的物资供应企业数量最少、动员生产开始时间最早。目前, 对于持续性物资消耗, 救点应急组合问题的研究已经取得一些成果, 文献[1]~[5]从应急系统费用和稳定性的角度考虑, 将应急时间最短、救点数最少作为优化目标, 给出了一些求解方法, 但这些研究都是把物资消耗速率假定为恒定速率, 没有考虑应战应急装备物资消耗非恒定的情况。由于将动员物资消耗速率设定为非恒定, 更符合装备物资动员的实际情况, 故对应战应急装备物资非恒定消耗情况下供应企业选择的模型构建问题进行研究。

## 1 装备动员物资供应企业选择问题的描述

$A_1, A_2, \dots, A_n$  为  $n$  个动员物资的供应企业,  $A$  为

装备动员中心,  $x$  为动员物资需求量,  $A_i$  的物资供应量为  $y_i (y_i > 0)$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$ , 且满足  $\sum_{i=1}^n y_i \geq x$ 。

动员物资消耗速率通常是随危机态势的变化而变化, 可以用一条连续曲线或分段函数来表示, 这里统一用函数  $f(t)$  表示物资的消耗速率曲线。

$t_i (t_i > 0)$  为从供应企业  $A_i$  到动员中心  $A$  需要的时间, 设  $t_1 < t_2 < \dots < t_n$ , 要求给出一方案, 确定参与动员的物资供应企业及各自提供的物资量, 要求在保证为装备动员中心物资连续供应及物资到达时间最短的前提下, 使供应企业数最少。

假设动员中心生产的物资可以连续运出, 动员中心无相应物资储备, 并且不考虑生产延迟, 动员物资消耗与动员中心的物资消耗是一致的。引入非恒定消耗速率条件下连续消耗的有关概念<sup>[6]</sup>。

设  $T_f$  表示企业参与动员活动的完成时间,  $T_s (\geq t_1)$  是动员生产开始时间,  $T$  表示生产持续时间,  $T$  可由  $x = \int_0^T [f(t)] dt$  求出。则生产完成时间  $T_f = T + T_s$ 。同时, 从动员生产开始到任意时刻  $t$  的

收稿日期: 2010-04-02; 修回日期: 2010-05-04

作者简介: 高松 (1974-), 男, 江苏人, 博士研究生, 从事装备管理系统结构与运行研究。

物资消耗量  $U_t$  可统一表示为  $U_t = \int_0^t [f(t)]dt$ 。

定义 1 如果方案  $F$  关于动员生产开始时间  $T_s$  是连续可行的, 则对  $\forall t \in [T_s, T_f]$ , 有  $\sum_{\{t_i \leq t\}} y_i \geq \int_0^t [f(t)]dt$ , 其中  $\sum_{\{t_i \leq t\}} y_i$  为  $t$  时刻已到达物资量,  $\int_0^t [f(t)]dt$  为  $t$  时刻的物资消耗量。

设所有关于生产起始时间  $T_s$  是连续可行的方案的集合为  $C_s$ , 则最优方案的求解问题为  $\min_{C_s \neq \emptyset} T_s$ 。

设  $t_1 < t_2 < \dots < t_n$ , 则方案的最早生产开始时间为  $T_s = \max_{i \in \{1, 2, \dots, p\}} [t_i - t_k]$ 。其中,  $t_k$  由式  $\sum_{k=0}^{p-1} y_k = \int_0^t [f(t)]dt$  求出, 令  $y_0 = 0$ ,  $t_k$  为第  $k$  个供应企业到达动员中心  $A$  时间。可选的一个重要方案应满足  $\sum_{k=0}^{p-1} y_k < y \leq \sum_{k=0}^p y_k$ , 则对应的最优方案为:

$$F = \left\{ (A_1, y_1), (A_2, y_2), \dots, (A_{p-1}, y_{p-1}), \left( A_p, x - \sum_{k=1}^{p-1} y_k \right) \right\}$$

## 2 双层规划模型

双层规划常用来研究二级系统的优化决策问题<sup>[5]</sup>。上层决策变量为  $x \in R_{n_1}$ , 其目标函数为  $F(x, y)$ , 下层决策变量为  $y \in R_{n_2}$ , 其目标函数为  $f(x, y)$ ,  $x$  和  $y$  往往要满足彼此不可分离的约束  $G(x, y) \leq 0$ 。上层决策变量  $x$  影响下层决策变量  $y$ 。因此, 双层规划模型能很好地描述管理系统中的分级决策问题。

将物资供应企业数量作为上层问题, 动员生产时间作为下层问题, 则可实现动员物资非恒定消耗条件下, 动员生产开始时间最早、供应企业数量最少的目的, 双层规划模型如下:

$$\begin{aligned} & \min \sum_{i=1}^n Z_i \\ & s.t. \begin{cases} \max_{i \in \{1, 2, \dots, p\}} [t_i - t_k] \\ \sum_{i=0}^{p-1} y_i < y \leq \sum_{i=0}^p y_i \\ z_i(z_i - 1) = 0, i = 1, 2, \dots, n \end{cases} \end{aligned} \quad (1)$$

式中:  $z_i$  为上层决策变量,  $z_i$  取 0 或 1, 当第  $i$  个供应企业参与动员生产时, 取  $z_i = 1$ , 否则  $z_i = 0$ ; 其它变量含义不变。

参考文献[3]上面数学模型的求解过程是: 首先

$$\text{取 } p = \min \left\{ p \mid \sum_{k=0}^{p-1} y_k \geq x, 1 \leq p \leq n \right\}$$

令  $z_1 = z_2 = \dots = z_p = 1$ ,  $z_{p+1} = z_{p+2} = \dots = z_n = 0$ 。求得的最早动员生产开始时间  $T_s = \max_{i \in \{1, 2, \dots, p\}} [t_i - t_k z_k]$ , 得到式 (1) 下层问题的最优化方案为:

$$F = \left\{ (A_1, y_1), (A_2, y_2), \dots, (A_{p-1}, y_{p-1}), \left( A_p, x - \sum_{k=1}^{p-1} y_k \right) \right\}$$

但这种算法会导致供应企业的数量过多, 会减少动员生产系统的稳定性, 增加动员的费用, 同时, 由于供应企业过多也会给正常的社会生活带来不必要的干扰。因此, 应考虑在满足连续消耗的前提下, 使供应企业数量最少。于引入如下判定条件如下:

$$T_s + t_i \geq t_h \quad i < h \leq p \quad (i = 1, 2, \dots, p-1) \quad (2)$$

式中,  $T_s$  为动员生产开始时间,  $t_i$  为第  $i$  个物资供应企业到达动员中心的物资量  $y_i$  在消耗速率为  $f(t)$  情况下的可持续时间,  $t_h$  为下一个的可行的物资供应企业  $A_h$  到达动员中心  $A$  的时间。

$$\text{令 } i = h_1 = 1, \text{ 取 } h_2 = \max \{ h \mid T_s + t_i \geq t_h, h > h_1 \}。$$

$$\text{令 } i = h_2, \text{ 取 } h_3 = \max \{ h \mid T_s + t_i \geq t_h, h_1 > h_2 \}。$$

以此类推, 求得式 (1) 上层规划问题的最优解, 求得最少的物资供应企业的数量记为  $q$ , 得到  $z_{h_1} = z_{h_2} = \dots = z_{h_q} = 1$ ,  $z_{h_{q+1}} = \dots = z_{h_p} = 0$ , 则最优方案为:

$$F^* = \left\{ (A_{h_1}, y_{h_1}), (A_{h_2}, y_{h_2}), \dots, (A_{h_q}, y_{h_q}), \left( A_{h_q}, x - \sum_{k=1}^{h_q-1} y_k \right) \right\}$$

## 3 双层规划模型的算法

1) 初始化  $x_0 = 0, t_0 = 0, h_0 = 0, t_1 < t_2 < \dots < t_n$ ,  $k = 0$ ;

$$2) \text{ 取 } p = \min \left\{ p \mid \sum_{k=0}^{p-1} y_k \geq x, 1 \leq p \leq n \right\}, \text{ 则}$$

$z_1 = z_2 = \dots = z_p = 1$ ,  $z_{p+1} = z_{p+2} = \dots = z_n = 0$ 。然后求出  $T_s = \max_{i \in \{1, 2, \dots, p\}} [t_i - t_k]$ 。其中,  $t_k$  由式  $\sum_{k=0}^{p-1} y_k = \int_0^t [f(t)]dt$  求出, 并满足  $\sum_{k=0}^{p-1} y_k < y \leq \sum_{k=0}^p y_k$ , 对应的可行方案为:

$$F = \left\{ (A_1, y_1), (A_2, y_2), \dots, (A_{p-1}, y_{p-1}), \left( A_p, x - \sum_{k=1}^{p-1} y_k \right) \right\}$$

(下转第 37 页)

客观评价数据难以获得, 而且主观因素较多, 因此不宜应用客观评价法。若应用主观评价法, 评价结果难免会受主观意识影响。笔者选用了主观客观相结合的评价法—模糊 DEA 评价法对队列教员的专业素质进行了初步评价, 所得结果对于选拔优秀的专业队列教员具有一定的参考价值。

**参考文献:**

[1] 中国人民武装警察部队司令部, 队列[M]. 2003.

(上接第 33 页)

3) 令  $k = h_i$ , 根据式 (2), 取  $h_{i+1} = \max \{h | T_s + t_i \geq t_h, h > k\}, k = h_{i+1}^{\circ}$

4) 若  $h_{i+1}$  不存在, 取  $h'_i < h_i, k = h'_i$ , 转 3), 否则转 5);

5) 当  $k$  取遍  $1 \sim p$  时, 取得上层优化问题的最优解为  $q$ , 即得到  $z_{h_1} = z_{h_2} = \dots = z_{h_q} = 1$ ,  $z_{h_{q+1}} = \dots = z_{h_p} = 0$ , 那么最优方案为:

$$F^* = \left\{ (A_{h_1}, y_{h_1}), (A_{h_2}, y_{h_2}), \dots, (A_{h_{q-1}}, y_{h_{q-1}}), \left( A_{h_q}, x - \sum_{k=1}^{h_q-1} y_k \right) \right\}$$

**4 算例及结果比较**

表 1 计算数据

参数	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8
t	2	3	4	11	12	14	20	22
y <sub>i</sub>	40	30	30	120	20	110	90	130

把数据带入式  $x = \int_0^T [f(t)]dt$ , 求出  $T = 9.5$

根据  $T_s = \max_{i \in \{1, 2, \dots, p\}} [t_i - t_k]$ , 得动员生产开始时间

为  $T_s = 12.8$ , 动员生产完成时间为:

$$T_f = T_s + T = 12.8 + 9.5 = 22.3$$

那么, 下层问题的可行解为:

$$F = \{(A_1, 40), (A_2, 30), (A_3, 30), (A_4, 120), (A_5, 20), (A_6, 20)\}$$

这样, 完成调度任务需要 6 个物资供应企业。

根据判定条件式 (2), 按照模型解法步骤 3)、4)调整后, 得  $q = 5$ , 5 个物资供应企业就可以满足动员要求, 最优解为:

$$F^* = \{(A_1, 40), (A_2, 30), (A_3, 30), (A_4, 120), (A_6, 40)\}$$

**5 结语**

相比文献[3]和文献[6]的算法, 该算法选择的物资供应企业数量更少, 在保证动员快速性的前提下,

[2] 马占新, 任慧龙. 基于模糊综合评判的 DEA 模型[J]. 模糊系统与数学, 2001(3): 61-67.  
 [3] 魏权龄. 数据包络分析(DEA)[M]. 北京: 科学出版社, 2004.  
 [4] 张明智. 模糊数学与军事决策[M]. 北京: 国防大学出版社, 1997.  
 [5] 张臻竹, 慕静. 一种对合作伙伴的选择与评价方法[J]. 天津: 生产力研究, 2007(1): 40-4.  
 [6] 裴家宏, 刘长泰, 冯添乐. 基于 DEA 法的通用装备保障训练绩效评估[J]. 四川兵工学报, 2009(11): 110-112.

某地发生突发事件, 急需某种物资 260 套, 为了满足装备动员物资需求, 装备动员组织建立物资供应网络, 同时, 下令动员中心开始生产动员物资。现有 8 个物资供应点  $A_1, A_2, \dots, A_8$ , 从这 8 个供应企业到动员中心 A 地的行程及物资可提供量和时间如表 1, 设应急开始实施时物资最小消耗速率为 10, 然后物资的消耗速率以曲线  $v = f(t) = -t^2 + 10t + 10$  变化。设动员中心的物资消耗与应急动员物资消耗是一致的。要求物资调度要以选择最少的物资供应企业来满足动员中心连续生产的要求, 给出物资供应企业选择的调度方案。

减少了物资供应企业, 增强了装备动员系统的稳定性, 降低了装备动员的成本。

**参考文献:**

[1] 卢安文, 张斌, 谢祥俊. 紧急情况下的物流配送模型[J]. 西南石油学院学报, 2003, 25(1): 80-82.  
 [2] 方磊, 何建敏. 应急系统优化选址的模型及其算法[J]. 管理工程学报, 2004, 18(1): 49-54.  
 [3] 刘春林, 何建敏, 盛昭瀚. 多出救点应急系统最优方案的选择问题研究[J]. 管理工程学报, 2000, 14(1): 13-15.  
 [4] 刘春林, 李春雨. 模糊应急系统组合优化方案选择问题的研究[J]. 管理工程学报, 2002, 16(2): 25-28.  
 [5] 林云, 葛显龙, 王旭. 基于双层规划的供应商选择模型及求解分析[J]. 计算机工程预应用, 2009, 45(33): 189-192.  
 [6] 刘春林, 沈厚才. 一类离散应急供应系统的两目标优化模型[J]. 中国管理科学, 2003, 11(4): 27-31.  
 [7] 柏立君, 罗建华, 杜家兴, 等. 基于机械可靠性的装甲装备使用维修决策支持[J]. 四川兵工学报, 2009(1): 20-22.