文章编号：1005-8451（2009）12-0020-03

铁路突发事件多应急点资源调度模型及仿真研究

牛宏睿，李　平，王富章
（中国铁道科学研究院　电子计算技术研究所，北京　100081）

摘　要： 基于应急点具有不同优先级的铁路突发事件的救援工作，在单应急点应急开始时间最早模型的基础上，根据优先级高低决定救援先后的特点，建立铁路突发事件多应急点的资源调度模型，然后将建立的模型转化为易于求解的线性模型，并使用LINGO软件建模求解，同时给出仿真算例，最后文章给出了结论。

关键词： 铁路突发事件；多应急点；救援优先级；资源调度模型
中图分类号： U292.3：TP39　**文献标识码：** A

Research on modeling and simulation of multi-emergency-areas model for emergency resource dispatch in railway emergency events

NIU Hong-rui, LI Ping, WANG Fu-zhang
(Institute of Computing Technology, China Academy of Railway Science, Beijing　100081, China)

Abstract: Based on the model of the earliest emergency-start-time in one area, it was introduced a multi-emergency-areas model for emergency resource dispatch, and then, it transformed the model into a lineal model and solved it using the LINGO software. Meanwhile, an illustration had been given and a conclusion had been drawn at last.

Key words: railway emergency events; multi-emergency-areas; rescue priority; model of resource dispatch

近年，各类突发事故灾难频发，应急管理的作用的越来越显得重要，而应急资源的调度问题是应急管理中重要内容，调度方案的优劣直接决定着应急救援的效果，当突发事件同时在多个地点发生时，即多点应急的问题，由于突发事件发生地点的情况千差万别，会造成对每个应急点的资源调度权重有所不同，资源应急点权重的调度因铁路线路有等级分别而对铁路应急事件显得尤为突出，当同时有两起铁路突发事件同时发生时，根据铁路行车运输组织的特点，繁忙干线的事故必然会比其他线路的事故造成的损失要大很多，此时应急资源的调度是应该优先满足繁忙干线的应急资源需求，再考虑其它干线资源调度。本文对这种情况的资源调度建立模型，以铁路的多点应急救援活动找出合理的救援方案，在满足应急点资源需求的前提下，使应急资源调度时间最短。

1　单应急点资源调度时间最短模型及求解方法

突发事件发生后，应急资源调度问题就是快速制定能够满足应急点资源需求的应急资源调度方案。设 A_1，A_2，…，A_n 为 n 个可供选择的应急物资提供点，A 为应急地点，a 为应急物资需求量，A_i 点的物资存储量（即可提供量）为 a_i（a_i>0），i=1，2,…,n，且有 $\sum_{i=1}^{n} a_i \geqslant a$，从 A_i 到 A 需要的时间为 t_i（t_i>0），从 A_i 调度单位应急资源到 A 所需的成本为 c_i，要求制定出一个最佳的应急物资调度方案，从 n 个可供选择的资源提供点确定 m（m<n）个参与应急救援，并且确定相应的资源提供量 x_i（$0 \leqslant x_i \leqslant a_i$），当 x_i=0时，表示出救点 i 为参与应急救援，最终使得资源全部调度到位时间最短，资源调度成本最小，如图1。

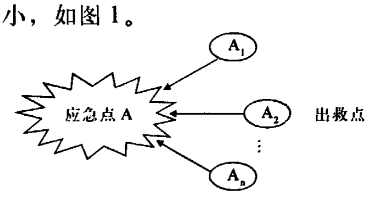

图1　单应急点资源调度示意图

设任一资源调度方案可表示为 φ，则

$$\varphi=\{(A_1,x_1),(A_2,x_2),\cdots,(A_n,x_n)\} \tag{1}$$

其中，$0 \leqslant x_i \leqslant a_i$，$\sum_{i=1}^{n} x_i = a$　。

收稿日期：2009-04-23
作者简介：牛宏睿，在读硕士研究生；李　平，研究员。

应急资源调度的目标是在最短的时间内，向应急点调度足够的应急物资参与应急救援，以满足应急点所需的应急物资要求。资源调度的最短时间是由资源调度方案中的应急物资提供点的最长到达时间决定的，可以满足应急点的物资需求。

假设应急资源调度的时间主要由资源提供点A_i到应急点A的时间决定，不考虑资源筹集、资源准备等等的时间消耗，用$T(\varphi)$表示方案φ对应的资源调度时间，故可以建立单应急点应急资源调度时间最短的出救点选择模型[1]。如式（2）。

$$\min \quad T(\varphi)=\max_{i=1,2,\cdots,n} t_i$$
$$s.t.\quad \begin{cases} \sum_{i=1}^{n} x_i = a \\ x_i \leqslant a_i \\ t_i \geqslant 0 \\ x_i \geqslant 0 \end{cases} \tag{2}$$

此模型为一个极大值极小化问题的非线性规划模型，对于该模型的求解，分析可知该模型可以引入一个0~1型整数并运用0~1整数规划的思想转化为一个线性规划问题。设b_i为0~1型整数，b_i=1时表示A_i点被选中参与救援，b_i=0时表示A_i未被选中参与救援，则(2)式等价转化为如式(3)所示的线性规划问题[2]。

$$\min \quad T$$
$$s.t.\quad \begin{cases} T-b_i t_i \geqslant 0 \\ \sum_{i=1}^{n} x_i = a \\ x_i \leqslant a_i \\ x_i - Mb_i \leqslant 0 \\ Mx_i - b_i \geqslant 0 \\ t_i \geqslant 0 \\ x_i \geqslant 0 \\ b_i \in \{0,1\} \end{cases} \tag{3}$$

其中，M为一相当大的正数，约束$x_i-Mb_i \leqslant 0$含义为：当b_i=1时，A_i点选中，此时该约束自动满足，即该约束失效；当b_i=0时，A_i点未被选中，可得此时A_i点提供资源x_i=0。约束$Mx_i-b_i \geqslant 0$含义为：当b_i=0时，该约束自动满足，即失效；当b_i=1时，该约束要求此时x_i必须提供应急资源。这样，就把式（2）转化为一个混合整数线性规划的问题。关于式（3）模型的求解，已有很多成熟的方法，如分支定界法、割平面法、遗传算法等。

本文使用LINGO软件[3]进行计算机建模求解，其LINGO求解程序核心部分如下：

```
model:
  sets:
    !resources- 应急物资提供点;
    !provide- 应急物资提供点资源提供量;
    !time- 应急物资提供点到应急点的时间;
    !capacity- 应急物资提供点的最大物资供应量;
  !select- 应急物资提供点的是否参与救援;
  !下面的n值在具体求解时要指定为具体的值;
     resources/1..n/:provide,time,capacity,select;
   endsets
   !目标函数;
   min=T;
   !约束条件;
   @for(resources:T>=select*time);
   @sum(resources:provide)=50;
   @for(resources:provide<=capacity);
   @for(resources:provide-999999*select<=0);
   @for(resources:999999*provide-select>=0);
   @for(resources:time>=0);
   @for(resources:provide>=0);
   @for(resources:@bin(select));
   data:
  !数据部分略;
   enddata
 end
```

2 多应急点资源调度时间最短模型及求解方法

假设有n个出救点（应急资源提供点）A_i（i=1，2，…，n）和m个应急点B_j（j=1，2，…，m），n个出救点可提供的救援资源分别为a_i（i=1，2，…，n），m个应急点需求的应急资源分别为b_j（j=1，2，…，m），另外，设从出救点A_i到应急点B_j的时间分别为t_{ij}（i=1，2，…，n，j=1，2，…，m）。不失一般性，假设m个应急点B_j的出救优先级分别为$P_{B1}>P_{B2}>\cdots>P_{Bm}$，即应急资源调度的顺序分别是$B_1$，$B_2$，…，$B_m$，仿照第1节提出的方法，建

立模型，具体求解步骤如下：

步骤1：对只有一个应急点B_1、n个出救点A_j (i=1，2，…，n) 的单目标问题按第2节的模型及求解方法使用LINGO软件求解，并给出方案φ_1。

步骤2：重新计算剩余的可供利用的出救点。若步骤1计算结束后存在$x_{1k}<a_k$ ($x_{1k}\neq 0$，k=1，2，…，n)，即第k个出救点向应急点B_1提供其部分应急资源，则剩余可供利用的出救点可以用如下方法得到：在去除步骤1中已经参加应急的出救点外，没有参加B_1应急救援的出救点和第k个出救点，这里第k个出救点可以提供的资源量为$a_k - x_{1k}$；若步骤1计算结束后只存在$x_{1k}=a_k$和$x_{1k}=0$两种情况，即应急点要么提供其全部资源，要么不提供资源，那么只需找到未参与应急点B_1应急救援的出救点即为剩余可供利用的。

步骤3：利用第2节提供的模型及求解方法对剩余可利用的出救点及其可利用的应急资源对应急点B_2使用LINGO软件建模并求解，给出方案φ_2。

步骤4：对剩余的$m-2$个应急点仿照步骤1~步骤3依次求解，直到把最后一个应急点B_m求解完毕后，则全部求解过程结束，此时可以给出每一个应急点的出救方案。

以上建立的模型及求解步骤实质上对m个应急点首先按救援优先级进行排序，然后按优先级由高到低的顺序对这m个应急点的资源调度时间最短的单目标问题连续求解，每次计算完一个应急点的出救方案后，要重新计算剩余可利用的出救点及其可提供的救援资源量，计算下一个目标，直至求出全部应急点的出救方案为止，这时可以得到一个全部应急点的应急救援出救方案。

3 仿真算例

模拟具有2个应急点、7个待出救点的应急突发事件，仿真数据如表1。

表1 应急点权重不同资源调度模型仿真试算数据

出救点 / 应急点	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6	A_7	需求量
B_1	$t_{11}=5$	$t_{12}=6$	$t_{13}=6$	$t_{14}=8$	$t_{15}=9$	$t_{16}=10$	$t_{17}=15$	$b_1=40$
B_2	$t_{21}=7$	$t_{22}=6$	$t_{23}=10$	$t_{24}=10$	$t_{25}=8$	$t_{26}=9$	$t_{27}=13$	$b_2=30$
供应量	$a_1=8$	$a_2=9$	$a_3=14$	$a_4=15$	$a_5=12$	$a_6=13$	$a_7=7$	

仿照第1节利用LINGO软件编程求解应急点B_1的出救方案为$\varphi_2=\{(A_1,8),(A_2,9),(A_3,14),(A_4,9)\}$。重新计算可供利用的出救点及各自资源量，得到表2数据。

表2 应急点权重不同资源调度模型仿真试算中间数据

出救点 / 应急点	A_4	A_5	A_6	A_7	需求量
B_1	$t_{24}=10$	$t_{25}=8$	$t_{26}=9$	$t_{27}=13$	$b_2=30$
供应量	$a_4=6$	$a_5=12$	$a_6=13$	$a_7=7$	

使用LINGO编程求解B_2的出救方案为$\varphi_2=\{(A_4,5),(A_5,12),(A_6,13)\}$，计算结束，方案$\varphi=(\varphi_1,\varphi_2)$即为给出的应急点救援优先级不同情况下应急资源调度的方案，即首先满足应急点B_1的资源需求，这时提供应急资源的出救点为A_1，A_2，A_3，A_4，然后满足应急点B_2的资源需求，此时提供应急资源的出救点为A_4，A_5，A_6，观察发现，出救点A_4同时向B_1，B_2应急点提供资源。至此，计算结束，得到救援方案$\varphi=(\varphi_1,\varphi_2)$，应急资源调度最短的时间为方案$\varphi=(\varphi_1,\varphi_2)$中调度资源的最长时间，上述仿真算例中此时间为$t_\varphi=t_{24}=10$。

4 结束语

本文在文献[1]的基础上，利用单应急点资源调度时间最短的模型的研究成果，分析了多应急点资源调度时间最短的模型，该模型对每一个应急点的资源调度从救援重要性的角度分配不同的调度优先级，从而在最短的时间内对全部的应急点分配足够的应急资源。

该模型模拟了实际中对多点救援的工作流程，对实际的应急救援工作有一定的指导意义，下一步的研究工作应该对多应急点的资源调度工作展开更深入的研究，如从调度成本最低的角度建模，对多个调度目标建立多目标的模型，对多种性质的资源建立多应急点多出救点多资源的模型等等，以期对实际工作提供更大的参考价值。

参考文献：

[1] 何建敏，刘春林，曹　杰，方　磊. 应急管理与应急系统-选址、调度与算法[M]. 北京：科学出版社，2005，7：98-101.

[2] 郭瑞鹏. 应急物资动员决策的方法与模型研究[D]. 北京：北京理工大学博士学位论文，2006（8）：54-58.

[3] 谢金星，薛　毅. 优化建模与LINDO/LINGO软件[M]. 北京：清华大学出版社，2005，7.