

编号: 1000-6788(2008)05-0098-07

# 基于偏好 DEA 模型的应急资源优化配置

方磊

(南开大学商学院 管理科学与工程系 天津 300071)

**摘要:** 从应急系统中应急资源的投入产出的整体相对效率考虑,提出了新的资源优化配置的非参数 DEA 模型,对应急系统中应急资源总体利用情况进行了评价.在此基础上,考虑到决策者的偏好信息,构造了偏好的 DEA 资源配置决策模型.最后,通过对一个算例的具体分析,清楚地表明,在资源总量控制的情况下,利用本文提出的非参数偏好 DEA 模型对应急资源进行统筹安排和合理配置,可以大大提高应急系统的整体相对效率.

**关键词:** DEA; 偏好; 效率; 资源配置

中图分类号: O22

文献标志码: A

## Resource allocation of emergency system based on the DEA model with preference information

FANG Lei

(Business School, Nankai University, Tianjin 300071)

**Abstract:** In this paper, a new nonparametric DEA model for resources allocation is put forward to evaluate the performance of resources utilization during the emergency system according to the total relative efficiency. On the basis of the model, it is extended to a DEA-based resource allocation model with preference information taking into account the decision maker's preference. Finally, an example and its analysis clearly show that the total relative efficiency of emergency system can be increased by using the proposed model under the constraints of total resources.

**Key words:** data envelopment analysis; preference; efficiency; resource allocation

### 1 引言

广义的应急资源包括应急信息、应急物质、应急队伍以及应急科学技术等.应急信息整合的紧迫性已经引起了人们的广泛关注,由于应急体制、主观认识以及缺乏系统的规划等原因,应急信息的分散、人为分割现象非常普遍.甚至同一灾种的监测系统、信息传输系统、信息处理系统也由不同的部门和地区掌握.这不仅造成了不必要的重复建设,也给应急信息共享设置了人为的障碍.应急物质与应急队伍整合的客观要求在于他们在防灾救灾中具有替代作用.比如消防队伍不仅能救火,而且能在地震、洪涝、台风等灾害事故的救助中发挥重要作用.应急科学技术研究之所以需要整合,是因为一方面一些多灾种共性的技术难题需要集中各方面的专家协同攻关;另一方面城市灾害的链状与群发效应尤其明显,其防救技术本身具有内在的一体性.本文对应急资源的论述侧重于狭义概念(指人力、物力、财力等).

从目前情况来看,由于大城市应急资源在全市各部门、各区之间的同构,分散和流通不畅,应急资源的使用效率很低.如从资源的整合角度将目前分散的资源进行集中配置,则可以实现规模效应.从资源的优化组合来看,实现应急资源的统一管理势在必行.这种整合包含各灾种之间、不同地区之间应急资源的横向整合和不同层级之间应急资源的纵向整合.以上特点表明,通过时空运筹,综合管理能够大大提高应急资源的利用效率,从而使我国的灾害救助装备、技术与世界先进水平同步,使国家和城市能有效地应对意

收稿日期: 2007-10-10

资助项目: 国家自然科学基金(70401014)

作者简介: 方磊,男(汉),博士,副教授,主要从事应急管理、物流与供应链研究.

外,保持稳定发展.

近年来,我国正处于安全事故频发高峰期,在一定程度上已经成为社会经济生活中的阴影.随着人们对应急管理及其在经济增长中作用的认识,实现应急资源的优化配置,最大限度地发挥应急资源的优势,促进国家、地区经济的持续增长,越来越多的国家和地区开始注意研究应急资源的优化配置,以及应急资源优化配置的有效性在经济增长中的作用.

1978 年,著名运筹学家 A. Charnes 提出了基于相对效率的多投入多产出分析法—数据包络分析法(Data Envelopment Analysis,简称 DEA).由于不需要预先估计参数,在避免主观因素和简化运算、减少误差等方面有着不可低估的优越性,该方法近年来被引进到各个领域进行有效性分析.

本文从决策单元(DMU)的总体相对有效性方面,研究了应急系统中的资源配置问题,对资源配置问题建立非参数的 DEA 模型.第二部分介绍了传统的资源配置的 DEA 模型.第三部分在资源总量控制情况下,首先从资源配置的总体相对效率考虑,提出了新的 DEA 应急资源配置模型,进一步考虑到决策者的偏好信息,将偏好信息进行集成,构造了具有偏好信息的 DEA 资源配置决策模型.第四部分介绍了一个算例.第五部分对全文做了总结.

## 2 传统的评价资源配置相对有效性的 DEA 模型

数据包络分析方法( DEA )是美国著名运筹学家 A. Charnes 和 W. W. Cooper 等以相对有效性的概念为基础而发展起来的新的效率分析方法,它实际上属于一种非参数方法.它的基本思想是:将每一个被评价的单元或部门视为一个决策单元( Decision Making Unit 简称 DMU ),由决策单元组  $DMUs$  构成评价群体,这个群体可以是学校、政府部门、科研活动执行体、银行、企业等,处于同一评价群体的每个 DMU 都是具有同样种类的资源消耗,并产生出同样种类的“产品”,即各 DMU 具有相同的投入项指标和相同的产出项指标;在指标项和  $DMUs$  确定以后,采用数学规划模型比较 DMU 之间的相对效率,进行投入产出比率的综合分析,得到每个 DMU 综合效率的量化指标值,从而确定相对效率最高的 DMU(即 DMU 有效),并对  $DMUs$  进行排队定档次,同时给出非 DEA 有效的 DMU 和 DEA 有效的 DMU 之间差距的数据,以此作为调整非有效的 DMU,向有效方向努力的方向和有关投入或产出项调整的数量依据<sup>[1,2]</sup>.

DEA 方法所使用的基本模型为  $C^2R$  模型,它是用来研究具有多个输入、特别是具有多个输出的生产部门同时为规模有效与技术有效的方法.在  $C^2R$  模型的基础上出现的  $C^2GS^2$  模型是用来评价部门间的相对技术有效性的模型,这一模型是  $C^2R$  模型的 DEA 改进模型.这两个模型为我们的研究提供了非常有效的方法.

测度企业规模效率与技术效率同时有效的  $C^2R$  模型<sup>[3,4]</sup>为

$$\begin{aligned} & \min [\theta - \epsilon(e^T s^- + \bar{e}^T s^+)] \\ & \text{s. t.} \quad \sum_{j=1}^n x_j \lambda_j + s^- = \theta x_0 \\ & \quad \quad \sum_{j=1}^n y_j \lambda_j - s^+ = y_0 \\ & \quad \quad \lambda_j \geq 0, \quad j = 1, 2, \dots, n \\ & \quad \quad s^+ \geq 0, s^- \geq 0 \end{aligned}$$

式中,  $\lambda_j$  为权重系数,  $s^+$ ,  $s^-$  为松弛变量,  $\theta$  为效率,  $x_j$  代表投入指标,  $y_j$  代表产出指标,  $e^T = (1, 1, \dots, 1) \in E_m$ ,  $\bar{e}^T = (1, 1, \dots, 1) \in E_s$ .

在运算过程中,  $\epsilon = 10^{-3} \sim 10^{-6}$ .

对于线性规划  $C^2R$ , 若其最优解为  $\theta_0 = 1, s^{+0} = 0, s^{-0} = 0$ , 则称决策单元  $j_0$  是 DEA 有效的.否则我们可以计算出它在有效前沿面上的“投影”:

$$\bar{x}_{j_0} = \theta_0 x_{j_0} - s^{-0}, \bar{y}_{j_0} = y_{j_0} + s^{+0}$$

它提供了将  $DMU_j$  转变为 DEA 有效而在输入与输出方面必须达到的目标.

$C^2GS^2$  模型的基本思想和  $C^2R$  模型是相似的. 目前, 关于资源配置的大量文献<sup>[2,4,5-9]</sup> 根据 DEA 相对有效的充要条件和上述两个 DEA 模型的运行结果可以计算出各 DMU 达到 DEA 有效或向生产前沿面转化, 其投入、产出应调整的目标. 需要指出的是, 进行投影分析虽然可以提供改进工作的目标, 但在实际工作中, 输入指标在短期内不可能得到改善, 因此应根据实际情况制定改进措施, 从提高管理效率方面来实现向 DEA 有效方向的转变. 遗憾的是, 目前已有的资源配置模型并没有对这类问题进行考虑.

为此, 本文从全面而宏观方面(如何更有效地配置有限的应急资源, 发挥其最大的潜能, 用以衡量 DMU 总体的运行状况)考虑, 对 DMU 总体上的投入产出相对效率进行了研究, 提出了新的资源优化配置的非参数模型, 并用来解决应急系统中的应急资源配置评价的实际问题.

### 3 问题的提出和建立模型

#### 3.1 问题的提出

讨论资源优化配置问题要涉及资源种类、资源数量和资源使用效果三方面情况. 为定量描述以上情况, 须分析以下几个构成资源优化配置问题的约束条件:

- 1) 应急服务设施点的输入(即应急服务设施点对资源的“耗费”)指标的种类数  $t$ ;
- 2) 应急服务设施点各种资源的数量(输入指标)  $a_{jp}$  ( $j = 1, 2, \dots, t; i, p = 1, 2, \dots, n$ );
- 3) 应急服务设施点的输出(即应急服务设施点在消耗了资源后所表现的效果)指标的种类数  $s$ ;
- 4) 在上述资源配置下, 应急服务设施点的输出指标  $b_{ip}$  ( $i = 1, 2, \dots, s; j, p = 1, 2, \dots, n$ ).

定义<sup>[10]</sup>:

$$e_{pq} = \left( \sum_{i=1}^s u_{ip} b_{iq} \right) / \left( \sum_{j=1}^t v_{jp} a_{jq} \right), \quad p = 1, 2, \dots, n; q = 1, 2, \dots, n$$

其中  $0 \leq e_{pq} \leq 1$ .

$v_{jp}$  表示第  $p$  个应急服务设施点第  $j$  中类型输入的一种度量(或称为权);

$u_{ip}$  表示第  $p$  个应急服务设施点第  $i$  中类型输出的一种度量(或称为权);

那么关于第  $p$  个应急服务设施点相对效率的 DEA 评价模型  $C^2R$  如下<sup>[11,12]</sup>:

$$\begin{aligned} & \max \quad e_{pp} \\ & \text{s. t.} \quad e_{pq} = \left( \sum_{i=1}^s u_{ip} b_{iq} \right) / \left( \sum_{j=1}^t v_{jp} a_{jq} \right), \quad q = 1, 2, \dots, n \\ & \quad 0 \leq e_{pq} \leq 1, \quad q = 1, 2, \dots, n \\ & \quad \mu_{ip} \geq \varepsilon, \quad i = 1, 2, \dots, s \\ & \quad v_{jp} \geq \varepsilon, \quad j = 1, 2, \dots, t \end{aligned}$$

下面主要考虑如下资源配置问题:

假设某城市共有  $n$  个应急服务设施点 DMU. 在一定的范围  $[t_1, t_2]$  内, 应急资源的数量和使用效果如上所述. 随着时间的推移  $[t_2, t_3]$ , 应急服务设施点发生了变化: 应急服务设施点的输出指标客观情况  $b_{ip}$  ( $i = 1, 2, \dots, s; j, p = 1, 2, \dots, n$ ) 发生了新的变化, 出现了新的不平衡, 设为  $y_{ip} \in [OL_{ip}, OU_{ip}]$  ( $i = 1, 2, \dots, s; j, p = 1, 2, \dots, n$ ).

应急服务设施点的行政管理部门如何在控制应急资源总量的同时, 对应急资源  $a_{jp}$  ( $j = 1, 2, \dots, t; i, p = 1, 2, \dots, n$ ) 进行重新配置和调整, 设为  $x_{jp} \in [IL_{ip}, IU_{ip}]$  (考虑了应急资源的相对稳定性, 故对此做了约束) ( $j = 1, 2, \dots, t; i, p = 1, 2, \dots, n$ ), 即如何统筹协调应急系统中的应急资源的优化, 以主动适应社会经济环境和社会应急服务需求的变化和调整, 进而达到总体上的优化配置.

#### 3.2 模型的建立

对上述问题, 可以得到如下的模型:

$$\max \quad \sum_{p=1}^n e_{pp}, \tag{1}$$

$$s.t. \quad e_{pq} = \left( \sum_{i=1}^s \mu_{ip} y_{iq} \right) / \left( \sum_{j=1}^t v_{jp} x_{jq} \right), \quad p = 1, 2, \dots, m; q = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

$$0 \leq e_{pq} \leq 1, \quad p = 1, 2, \dots, m; q = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

$$\mu_{ip} \geq \varepsilon, \quad i = 1, 2, \dots, s; ip = 1, 2, \dots, m \quad (4)$$

$$v_{jp} \geq \varepsilon, \quad j = 1, 2, \dots, t; ip = 1, 2, \dots, m \quad (5)$$

$$\sum_{p=1}^n x_{jp} = T_j, \quad j = 1, 2, \dots, t \quad (6)$$

$$IU_{ip} \leq x_{ip} \leq OU_{ip}, \quad i = 1, 2, \dots, s; ip = 1, 2, \dots, m \quad (7)$$

$$OL_{ip} \leq y_{ip} \leq OU_{ip}, \quad i = 1, 2, \dots, s; ip = 1, 2, \dots, m \quad (8)$$

其中：

$$T_j = \sum_{p=1}^n a_{jp} (j = 1, 2, \dots, t)$$

式中 (1) 式表示  $n$  个应急服务设施点的总体平均相对效率的优化结果；

(6) 式表示应急服务设施点的输入指标(即应急服务设施点对资源的“耗费”)总量约束。

(7)(8) 式表示应急服务设施点的输入、输出指标约束。

上述模型中的权重系数  $u_{ip}, v_{jp}$  由各 DMU 按照对自己最有利的原则选取,取值过于灵活,在应用 DEA 时更应注意引进相应的决策信息,通过给权重施加约束实现决策者的偏好结构,使评价结果更为可靠.本文考虑到决策者对各输入指标和输出指标的偏好信息  $P_i, P_r$ , 并且根据已知的偏好信息利用下面模型(9)计算出各个决策单元的权重系数  $u_{ip}, v_{jp}$ ,该模型是由 Thanassoulis 和 Dyson<sup>[7]</sup> 1993 年提出的,并经 Athanassopoulos<sup>[13,14]</sup> 扩展用来设置目标和估计边际转化率(MRT, marginal rates of transformation):

$$\min_{v_{jp}, u_{ip}} \quad \sum_{j=1}^t v_{jp} x_{jp} - \sum_{i=1}^s u_{ip} y_{ip} \quad (9)$$

$$s.t. \quad \sum_{j=1}^t v_{jp} x_{jq} - \sum_{i=1}^s u_{ip} y_{iq} \geq 0, \quad q = 1, 2, \dots, n$$

$$u_{ip} y_{ip} \geq P_i, \quad i = 1, 2, \dots, s$$

$$v_{jp} x_{jp} \geq P_j, \quad j = 1, 2, \dots, t$$

对于每个决策单元  $DMU_p (p = 1, 2, \dots, m)$  利用上述模型计算一次,得到最优的权重系数,记为  $u_{ip}^*, v_{jp}^*$ . 对于决策单元  $p$ , 将投影到以下支撑超平面(supporting hyperplane)  $SH^p$ , 该  $SH^p$  由满足以下条件的有效决策单元  $(X^q, Y^q)$  组成:

$$SH^p = \{ (X^q, Y^q) \mid V^p Y^q - U^p X^q = 0 \}$$

其中:  $V^p = (v_{1p}^*, v_{2p}^*, \dots, v_{tp}^*)$ ;  $U^p = (u_{1p}^*, u_{2p}^*, \dots, u_{sp}^*)$ .

则,该支撑超平面  $SH^p$  下输入指标  $x_{jq}$  和输出指标  $y_{iq}$  的边际转化率(MRT)为:

$$MRT_{x_{jq}, y_{iq}} = \frac{\partial (V^p Y^q - U^p X^q = 0) / \partial y_{iq}}{\partial (V^p Y^q - U^p X^q = 0) / \partial x_{jq}} = - \frac{v_{jp}}{u_{ip}}$$

$$\forall q \in SH^p$$

Athanassopoulos<sup>[14]</sup> 指出了上述模型(9)得到的权重系数  $u_{ip}^*, v_{jp}^*$  具有以下特性;

1) 上述权重系数将非有效决策单元投影到有效平面和输入/输出指标改善的偏好信息联系起来.

2) 上述权重系数决定将非有效决策单元投影到不同的有效前沿面上,从而对于资源的合理配置提供有价值的信息.

上述两个方面的特性说明了利用模型(9)得到的 MRT 体现了在评价过程中对于特定的输入指标和输出指标的相对重要程度的决策者偏好.由于它反映了一些输入/输出指标对于其他输入/输出指标的相对价值,因此,它对于资源配置具有直接的意义<sup>[14]</sup>.

将模型(9)中的偏好信息进行集成,模型(1~8)将转化为以下模型:

$$\begin{aligned}
 \max \quad & \sum_{p=1}^n e_{pq} & (10) \\
 \text{s.t.} \quad & e_{pq} = \left( \sum_{i=1}^s u_{ip}^* y_{iq} \right) / \left( \sum_{j=1}^t v_{jp}^* x_{jq} \right), \quad p = 1, 2, \dots, n; q = 1, 2, \dots, n \\
 & 0 \leq e_{pq} \leq 1, \quad p = 1, 2, \dots, n; q = 1, 2, \dots, n \\
 & \sum_{p=1}^n x_{jp} = T_j, \quad j = 1, 2, \dots, t \\
 & IU_{ip} \leq x_{ip} \leq OU_{ip}, \quad j = 1, 2, \dots, t; p = 1, 2, \dots, n \\
 & OL_{ip} \leq y_{ip} \leq OU_{ip}, \quad i = 1, 2, \dots, s; p = 1, 2, \dots, n
 \end{aligned}$$

其中：

$$T_j = \sum_{p=1}^n a_{jp}, \quad j = 1, 2, \dots, t$$

### 4 应用举例

假设某城市的消防局下属 10 个消防站,根据社会消防发展综合评价指标体系<sup>[3]</sup>,选取如下输入输出指标：

输入指标 (即该应急服务设施点对资源的“耗费”)的选取：

- 1) 工作人员人数
- 2) 消防经费(百万元)

输出指标 (即该应急服务设施点在消耗了资源后所表现的效果)的选取：

- 1) 15 分钟消防时间达标率
- 2) 火灾发生次数

在  $t_1, t_2$  期间,根据所选择的输入、输出指标,有关数据见表 1。

随着时间的推移  $[t_2, t_3]$ ,考虑应急资源的相对稳定性,输入指标约束数据见表 2。

表 1 各 DMU 输入、输出指标数据

DMU	Outputs		Inputs		Efficiencies
1	0.81	543	70	8.55	0.416
2	0.74	269	34	5.16	0.564
3	0.84	412	54	6.14	0.5
4	0.80	305	23	2.55	1
5	0.66	523	50	7.38	0.482
6	0.84	267	26	3.34	0.798
7	0.79	415	52	6.25	0.496
8	0.90	331	35	4.50	0.691
9	0.76	308	23	3.01	1
10	0.90	303	32	3.46	0.770
Total			399	50.34	6.717

表 2 各 DMU 资源指标约束数据

DMU	Outputs		Inputs	
1	0.81	543	[ 56.84 ]	[ 6.84, 10.26 ]
2	0.74	269	[ 27.41 ]	[ 4.128, 6.192 ]
3	0.84	412	[ 43.65 ]	[ 4.912, 7.368 ]
4	0.80	305	[ 18.28 ]	[ 2.04, 3.06 ]
5	0.66	523	[ 40.60 ]	[ 5.904, 8.856 ]
6	0.84	267	[ 21.31 ]	[ 2.672, 4.008 ]
7	0.79	415	[ 42.62 ]	[ 5.7, 5 ]
8	0.90	331	[ 28.42 ]	[ 3.6, 5.4 ]
9	0.76	308	[ 18.28 ]	[ 2.408, 3.612 ]
10	0.90	303	[ 26.38 ]	[ 2.768, 4.152 ]
Total			399	50.34

消防局在控制应急资源总量(即工作人员数、消防经费)的同时,如何通过应急资源的重组优化,提高应急资源的整体素质,保证应急资源的利用效率,根据表 1 和表 2 的数据,利用模型(9)得出不同决策单元的权重系数(本例中  $P_i = P_j = 1$ )。将偏好信息集成到模型(10)构建具有偏好的 DEA 模型,利用 LINGO 软件功能对上述问题求解,结果见表 3,数据为利用资源配置模型后优化的解。

从表 3 可以看出,本文提出的关于资源配置的非参数偏好 DEA 模型的优越性。在资源总量控制(即工作人员数、消防经费总量不变)的前提下,通过资源的合理配置,使整个应急系统的整体相对效率大大提高。

表 3 偏好 DEA 模型下各 DMU 资源配置优化解

DMU	Outputs		Inputs		Efficiencies
1	0.81	543	84	10.26	0.347
2	0.74	269	41	6.096	0.477
3	0.84	412	65	7.368	0.416
4	0.80	305	23	3.06	0.992
5	0.66	523	40	5.094	0.602
6	0.84	267	23	2.672	0.938
7	0.79	415	46	5.00	0.575
8	0.90	331	28	3.60	0.864
9	0.76	308	23	3.612	1
10	0.90	303	26	2.768	0.957
Max					0.347
Total					7.168

### 5 结束语

本文从应急系统中应急资源的投入产出进行了整体上相对效率考虑，提出了新的资源优化配置的非参数偏好 DEA 模型，对应急系统中应急资源总体利用情况进行了评价，在当前加强应急管理、提高应急资源配置和利用效率的背景下具有很强的现实意义。最后，通过对一个算例的具体分析，清楚地表明，在资源总量控制的情况下，利用本文提出的非参数偏好 DEA 模型对应急资源进行统筹安排和合理配置，可以大大提高应急系统的整体相对效率。

#### 参考文献：

[ 1 ] 莫剑芳,叶世琦. 基于 DEA 的资源配置状况分析[J]. 运筹与管理 2002, 11(1):42-45.  
 Mo J F, Ye S Q. Analysis of the status of resource allocation with DEA method[J]. Operation Research and Management Science, 2002, 11(1):42-45.

[ 2 ] 韩松,魏权龄. 资源配置的非参数 DEA 模型[J]. 系统工程理论与实践 2002, 22(7):59-70.  
 Han S, Wei Q L. The nonparametric DEA models for resource allocation[J]. Systems Engineering - Theory & Practice 2002, 22(7):59-70.

[ 3 ] 高艳娟,王维军,吴晨光. 城市消防系统综合评价[J]. 系统工程理论与实践, 1998, 18(11):132-140.  
 Gao Y J, Wang W J, Wu C G. Synthetic appraisal on city fire protection system[J]. Systems Engineering - Theory & Practice, 1998, 18(11):132-140.

[ 4 ] 李光金. 基于双准则规划的 DEA 及其相对效率[J]. 管理工程学报, 1998, 1:45-51.  
 Li G J. DEA based on bi-criteria programming and its relative efficiency[J]. Journal of Industrial Engineering Management, 1998, 1:45-51.

[ 5 ] Thanassoulis E. A data envelopment analysis approach to clustering operating units for resource allocation purposes[J]. Omega, 1996, 24:463-476.

[ 6 ] Thanassoulis E. Estimating efficient marginal resource levels using dataenvelopment analysis[J]. Journal of Cost Analysis(Fall), 1998, 29-52.

[ 7 ] Golany B, Phillips F Y, Rousseau J J. Models for improved effectiveness based on DEA efficiency results[J]. IIE Transactions, 1993, 25:2-10.

[ 8 ] Golany B, Tamir E. Evaluating efficiency-effectiveness equality trade-offs: A data envelopment analysis approach[J]. Management Science, 1995, 41:1172-1184.

[ 9 ] Green R H, Cook W, Doyle J. A note on the additive data envelopment analysis mode[J]. Journal of the Operational Research Society, 1997, 48:446-448.

[ 10 ] Doyle J, Green R. Efficiency and cross-efficiency in DEA: Derivations, meanings and uses[J]. Journal of the Operational

Research Society ,1994 45 :567 - 578.

- [11] Charnes A , Cooper W W , Lewin A Y , et al. Data envelopment analysis : Theory , methodology and applications [ J ]. Kluwer Academic Publishers , Norwell MA 02061 , USA , 1995.
- [12] Bousso A. ane , Dyson R G , Thanassoulis E. Applied data envelopment analysis [ J ]. European Journal of Operational Research , 1991 52 :1 - 15.
- [13] Athanassopoulos A D. Goal programming & data envelopment analysis ( GoDEA ) for target-based multi-level planning : Allocating central grants to the Greek local authorities [ J ]. European Journal of Operational Research 1995 87 :535 - 550.
- [14] Athanassopoulos A D. Decision support for target-based resource allocation of public services in multiunit and multilevel systems [ J ]. Management Science 1998 44 :173 - 187.

(上接第84页)

3) 决策变量 :

$l_i^M$  : 计划期  $t$  原料  $i$  在中转仓库的库存量 ;

$x_{it}^{M-A}$  : 计划期  $t$  向原料场的运送原料  $i$  的运输量 ;

$x_{int}^{AT}$  : 计划期  $t$  由原料  $i$  加工的  $n$  的加工量 ;

$f_{it}$  : 计划期  $t$  向原料场运输原料  $i$  的目标量 ;

$l_i^A$  : 计划期  $t$  原料  $i$  在原料场的库存量 ;

$l_{int}^{AT}$  : 计划期  $t$  由原料  $i$  加工的  $n$  在原料场的库存量 ;

$l_{jrt}^S$  : 计划期  $t$  由设备  $j$  按照方案  $r$  生产的烧结矿的库存量 ;

$z_{jp}^S$  : 如果设备  $j$  执行计划  $p$  ,  $z_{jp}^S = 1$  , 否则  $z_{jp}^S = 0$  ;

$z_{kq}^B$  : 如果设备  $k$  执行计划  $q$  ,  $z_{kq}^B = 1$  , 否则  $z_{kq}^B = 0$  ;

$\delta_{jprt}^S$  : 如果设备  $j$  采用计划  $p$  , 且在计划期  $t$  使用了方案  $r$  ,  $\delta_{jprt}^S = 1$  , 否则  $\delta_{jprt}^S = 0$  ;

$\delta_{kqst}^B$  : 如果设备  $k$  采用计划  $q$  , 且在计划期  $t$  使用了方案  $s$  ,  $\delta_{kqst}^B = 1$  , 否则  $\delta_{kqst}^B = 0$  .

## 附录 B 价格子问题中的符号说明

$c_{jr}^{\text{product}_S}$  : 设备  $j$  按照方案  $r$  进行生产的单位产品的生产费用 ;

$L_{jr}^{S-\min}$  : 设备  $j$  连续使用配料方案  $r$  的计划期长度下限 ;

$c_{jr}^{\text{change-over}_S}$  : 如果  $\bar{r} = r$  ,  $c_{jr}^{\text{change-over}_S} = 0$  ; 如果  $\bar{r} \neq r$  ,  $c_{jr}^{\text{change-over}_S}$  = 设备  $j$  使用的配料方案由  $r$  转向  $\bar{r}$  所引起的转换成本 , 否则  $c_{jr}^{\text{change-over}_S} = 0$  ;

$L_{jr}^S$  : 设备  $j$  使用的配料方案由  $r$  转向  $\bar{r}$  , 连续使用  $\bar{r}$  的长度 . 如果  $\bar{r} \neq r$  ,  $L_{jr}^S = L_{jr}^{S-\min}$  , 否则  $L_{jr}^S = 1$  ;

$a_{jprt}^S$  : 如果设备  $j$  在计划期  $t - L_{jr}^S$  末由方案  $r$  转向了  $\bar{r}$  , 且持续到计划期  $t$  末 , 则  $a_{jprt}^S = 1$  , 否则  $a_{jprt}^S = 0$  .