

考虑设施失效的军事物流配送中心选址模型

李 东,晏湘涛,匡兴华

LI Dong, YAN Xiang-tao, KUANG Xing-hua

国防科技大学 信息系统与管理学院,长沙 410073

School of Information System and Management, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China

E-mail: lidong@nudt.edu.cn

LI Dong, YAN Xiang-tao, KUANG Xing-hua. Location model for military logistics distribution centers considering facilities failure. Computer Engineering and Applications, 2010, 46(11): 3-6.

Abstract: In order to enhance the economic benefits of military distribution system, an optimization location model for military logistics distribution centers is presented according to the fact that there are bypassing support and reinforcement support in material distribution when logistics facilities have been failed. In the model, military logistics distribution center has primary and backup attributes, and the total cost is composed of fixed charge, normal transportation cost and emergency transportation cost in facilities failure environment. A heuristic algorithm based on greedy dropping is adopted to solve the model. Then, a comparison is made to illustrate the difference between the model and the traditional location model. Numerical example shows that the result of the model has an advantage in mean expected cost added when some facilities are faced with failure risk.

Key words: military logistics distribution center; facilities failure; facility location problem; greedy dropping heuristic algorithm

摘 要: 为了提高军事配送系统的经济性, 针对物资配送中后勤设施失效时进行支援保障和越级保障的情况, 将军事物流配送中心的属性分为“首选”与“备选”两种, 并把设施失效时的应急配送成本作为决策目标的一部分, 建立了最小化设施固定成本、正常配送成本、应急配送成本之和的军事物流配送中心选址模型, 采用贪婪取走的启发式算法进行了模型求解, 比较了考虑设施失效情况的选址方案与未考虑设施失效情况的选址方案之间的差别。仿真算例结果表明, 虽然由模型所得选址方案的设施固定成本与正常配送成本之和高于未考虑设施失效情况的选址方案, 但平均期望成本增加值低于后者。

关键词: 军事物流配送中心; 设施失效; 选址问题; 贪婪取走启发算法

DOI: 10.3778/j.issn.1002-8331.2010.11.002 **文章编号:** 1002-8331(2010)11-0003-04 **文献标识码:** A **中图分类号:** O224

1 引言

军事物流配送中心(Military Logistics Distribution Center, MLDC)是战场物资保障资源的聚集地,也是实施各类物资配送活动的主要场所,在军事配送系统运行中起功能衔接、组织指挥、信息处理等重要作用。MLDC布局的好坏关系到军事配送系统建设的成功与否,也影响着整个配送系统的运行效率和成本^[1]。因此,良好的MLDC位置不但可以充分发挥军事配送系统的保障能力,也能节省物流费用,提高战争的经济可承受性。

尽管经济性不是军事配送系统优化的终极目标,但降低系统成本、提高经济效益却是军事配送系统优化的一个重要方面。因此,在基于数学规划的MLDC选址模型中,选址目标常常是最小化系统的总成本,主要包括设施固定成本和配送成本。文献[2]探讨了采用固定成本设施选址模型(The Fixed Charge Facility Location Problem)^[3]进行MLDC选址的问题,选址总成本包括设施固定成本和MLDC到用户的配送成本;由于MLDC是依托后方仓库(或综合保障基地)对部队用户进行物资配送

的,因此文献[4]对文献[2]的模型进行了改进,在总成本中增加了后方仓库(或综合保障基地)到MLDC的配送成本;文献[5]着重考虑物资配送的具体过程,将配送成本分为MLDC到部队用户的运输成本、配送中心的物资装卸成本和需求点的装卸成本三项。以上这些研究,假设建立的MLDC是绝对安全的或者能够在战争全过程保持持续运作,忽略了MLDC未来遭受敌人攻击而失效(或丧失保障能力)的情况。

海湾战争、科索沃战争、伊拉克战争等战例表明:打击后勤设施、破坏物流活动、瘫痪后勤保障系统已经成为战时敌对双方达成战争、战略目的的一种有效手段。MLDC作为支撑战场军事配送网络的关键设施,对战场物流的流量、时间、成本以及配送效果有决定性的影响,战时必然成为敌人重点打击对象,随时面临失效的风险。王宗喜强调,军事物流资源配置要具有战略性、前瞻性,要服从未来战争的实际^[4]。因此,军事物流配送中心的布局必须考虑设施未来失效的情况。另外,Snyder和Daskin在研究企业供应链时发现,考虑设施失效的供应链设计

基金项目:国家自然科学基金(the National Natural Science Foundation of China under Grant No.70871116);空军后勤理论研究课题(No.KN08357)。

作者简介:李东(1981-),男,博士研究生,主要研究方向:军事物流,物流与供应链管理,决策方法等;晏湘涛(1978-),男,博士,讲师,主要研究方向:军事物流,物流与供应链管理,决策方法等;匡兴华(1945-),男,教授,博士生导师,主要研究方向:物流与供应链管理,决策理论与方法等。

收稿日期: 2010-01-20

修回日期: 2010-03-01

方案能够明显改善供应链中断时设施的服务效果^[6-7]。基于这些事实与认识,为了降低军事配送系统成本、提高保障效果,提出了考虑设施失效的军事物流配送中心选址模型,以设施固定成本、无设施失效时正常配送成本、设施失效时应急配送成本之和最小化为目标,对 MLDC 选址问题进行研究。

2 问题描述

军事配送系统是为了向用户供应所需物资,以物资保障设施为依托,将各种配送资源按照一定的要求和原则合理部署而最终形成的一个网络化布局的配送体系。在这个体系中,基地、仓库、MLDC、补给站等后勤设施构成了配送系统的实体,在业务上分工合作,借助管线、车辆、轮船、飞机等配送载体,通过恰当的保障方式与用户联结成一个整体,保证作战物资按需、有序和快速补给,保障部队日常训练和战时作战的物资需求。在物资配送中,可采用的保障方式有很多种。对于一个由综合保障基地、MLDC、部队用户构成的军事配送系统而言,涉及到的主要保障方式有建制保障、支援保障、越级保障等。一般情况下,在设施未失效时,采用建制保障方式进行物资配送;设施失效时或紧急情况下,采用友邻 MLDC 的支援保障或综合保障基地的越级保障进行物资配送。具体来说,在图 1 中,建制保障就是综合保障基地对 4 个配送中心 $F_1 \sim F_4$ 的物资配送,以及当 $F_1 \sim F_4$ 全部正常运作时, F_1 对 C_1, C_2, C_3, F_2 对 C_4, C_5, C_6, F_3 对 C_7, C_8, F_4 对 C_9, C_{10} 的物资配送;支援保障就是当图中 C_4, C_5, C_6 的建制保障设施 F_2 失效时,由 F_1 对 C_4 和 C_5, F_3 对 C_6 的物资配送。越级保障就是综合保障基地将作战物资直接配送至用户,即图中 F_3 也失效时 B 对 C_6 的物资配送。

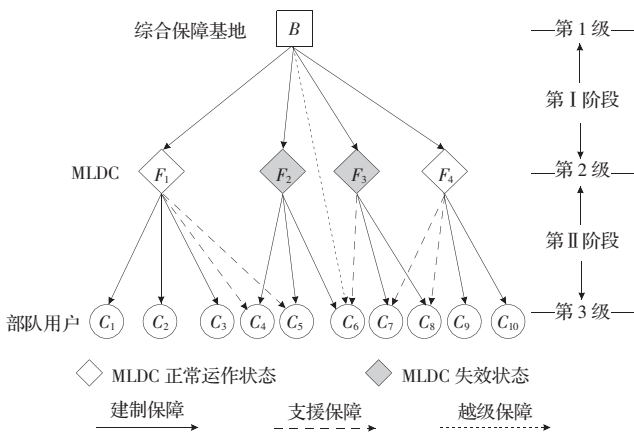


图 1 军事配送系统结构图

在物资配送过程中,当 MLDC 发生失效、保障方式由建制保障转变为支援保障或越级保障时,整个军事配送系统的全部配送距离会发生巨大变化,此时系统也由初始阶段的“最优”状态变为“非最优”状态,系统总配送成本随之增加。另外,在采用支援保障与越级保障方式进行物资配送时,实施支援保障的 MLDC 和实施应急保障的综合保障基地在设计配送预案、协调物资、调配备送力量时会产生额外的物流成本,它们会以应急配送成本的形式影响系统的总成本。该文试图解决的问题是,在一个综合保障基地供应全部作战物资的环境下,从给定的备选地址集中选出一组地址,使得由综合保障基地、MLDC 构成的军事配送系统,在出现设施失效时其设施固定成本和配送成本之和最小。

3 数学模型

3.1 基本假设

模型建立的基本假设如下:(1)不考虑综合保障基地物资供应能力和 MLDC 配送能力限制;(2)如果在某个备选地址建立 MLDC,则其固定成本已知;(3)各部队用户的物资需求已知;(4)不考虑物资种类上的差别;(5)无论是设施失效还是未失效的情况,每个部队用户只由一个 MLDC 配送物资,并称实施建制保障的 MLDC 为用户的“首选”MLDC、“首选”MLDC 失效时实施支援保障的 MLDC 为用户的“备选”MLDC;(6)在物资配送过程中,若用户的“首选”MLDC 失效,由距其最近的“备选”MLDC 配送物资;若此时“备选”MLDC 也失效,那么由综合保障基地采取越级保障方式对其配送物资。(7)不考虑综合保障基地与 MLDC 之间的配送过程。(8)配送系统所要建立的 MLDC 数量已知。

假设(2)是对 Kuehn-Hamburger 模型的修正^[8];假设(3)和(5)同 Kuehn-Hamburger 模型;假设(6)是对设施失效情况下物资配送过程的说明;假设(8)提出了 MLDC 的数量;假设(1)、(4)和(7)是简化问题的必要假设。

3.2 符号说明与模型

根据前文分析定义以下符号:

I :需求点集合,用 i 遍历;

J :备选地址集,用 j, k 遍历;

h_i :用户 i 的需求量;

f_j :在 j 处建立 MLDC 的固定成本;

c_{ij}^1 :正常运作时,由 j 处配送物资到用户 i 的单位费用;

c_{ik}^2 :支援保障时,由 k 处配送物资到用户 i 的单位费用;

c_i^0 :越级保障时,从综合保障基地配送物资到用户的单位

费用,且 $c_i^0 > c_{ik}^2 > c_{ij}^1$;

q_j, q_k :分别为点 j 和 k 处 MLDC 的失效概率;

p :所需建立的 MLDC 数量;

决策变量:

$$X_j = \begin{cases} 1 & \text{在 } j \text{ 处建立 MLDC} \\ 0 & \text{其他} \end{cases}$$

$$Y_{ijk} = \begin{cases} 1 & \text{用户 } i \text{ 以 } j \text{ 处设施为“首选”MLDC,} \\ & \text{以 } k \text{ 处设施为“备选”MLDC} \\ 0 & \text{其他} \end{cases}$$

根据以上假设和符号说明,考虑设施失效的 MLDC 选址模型可以形式化如下:

$$\min C_{total} = \sum_{j \in J} f_j X_j + \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{k \in J} h_i [(1-q_j) c_{ij}^1 + q_j (1-q_k) c_{ik}^2 + q_j q_k c_i^0] Y_{ijk} \quad (1)$$

$$\text{s.t.} \quad \sum_{j \in J} X_j = p \quad (2)$$

$$\sum_{k \in J} Y_{ijk} \leq X_j \quad \forall i \in I, \forall j \in J \quad (3)$$

$$Y_{ijk} \leq X_k \quad \forall i \in I, \forall j \in J, \forall k \in J \quad (4)$$

$$Y_{ijj} = 0 \quad \forall i \in I, \forall j \in J \quad (5)$$

$$\sum_{j \in J} Y_{ijk} = 1 \quad \forall i \in I, \forall k \in J \quad (6)$$

$$\sum_{j \in J} \sum_{k \in J} Y_{jk} = 1 \quad \forall i \in I \quad (7)$$

$$X_j \in \{0, 1\} \quad \forall j \in J \quad (8)$$

$$Y_{jk} \in \{0, 1\} \quad \forall i \in I, \forall j, k \in J \quad (9)$$

目标函数(1)最小化配送系统设施固定成本和期望配送成本,其中期望配送成本包括设施未失效时的正常配送成本,失效时进行支援保障和越级保障的应急配送成本。约束条件(2)表示所要选定的 MLDC 数量限制;约束条件(3)和(4)分别表示用户只能分配给已经建立的“首选”MLDC 和“备选”MLDC;约束条件(5)禁止某用户的“首选”MLDC 也是其“备选”MLDC;约束条件(6)和(7)表示每个用户只有一个“首选”MLDC 和一个“备选”MLDC;约束条件(8)和(9)是决策变量的 0-1 整数约束。

4 求解

对于模型(1)~(9),如果不考虑设施固定成本和设施失效时的配送成本,那么可以简化为一个 p-median 问题。因此选用贪婪取走的启发式算法求解,主要是基于以下几点考虑^[9]:(1)算法有效性:贪婪启发式算法是求解 p-median 问题最为常用的一种算法,并已被证明是求解此类问题的有效算法;(2)求解速度:贪婪启发式算法比较简单,求解速度较快,尤其是遇到大规模问题时这种优势更为明显。而其他一些启发式算法如模拟退火算法返回一个高质近似解的时间花费较多,当问题规模不可避免地增大时,准予承受的运行时间将使算法丧失可行性;(3)求解质量:贪婪算法不需要过多的参数,因而也就不存在参数选择对求解质量的影响。而另外一些算法对参数有较高的要求,参数选择直接关系到算法的精度、可靠性和计算时间等诸多因素,并且影响到结果的质量和系统性,如收敛性等。

贪婪取走启发算法的基本思想是,对于在 n 个备选地址中选择 m 个物流中心位置的问题,首先在所有 n 个备选地址开设物流中心,按照配送成本最低的原则将需求点指派到物流中心;然后遵循总费用增加最小的规则取走一个物流中心,直到满足数量要求停止。需要注意的是,每次贪婪得到的选址方案只是一个局部最优地址组合,因此也就不能确保最终选址方案的全局最优性。针对这个问题,在贪婪基础上引入局部搜索替代^[10]进行修正,即在每次得到贪婪结果之后,将相应地址组合中的点用取走点组合中某个领域内的点来替代,并比较它们的目标函数值。如果目标函数的取值有所改善,则保留替代后的选址组合,否则仍选用贪婪得到的组合。局部搜索替代的方法根据实际问题来确定,可以是随机选取的,也可以顺序选取,本文选用前者。

具体求解步骤如下:

步骤 1 对于地址个数为 m 的备选址集 J , 令选址集合 $P=J$, 已选点个数 $n=m$;

步骤 2 按照配送成本最小的原则将每个用户指派给最近的 MLDC,并将此设施记为该用户的“首选”MLDC,按照同样的原则指定用户在“首选”设施失效时的“备选”MLDC,计算此时目标函数值;

步骤 3 $n=n-1$,从选址集合 P^n 中确定一个取走地址,并按照步骤 2 中的指派原则分配用户,若取走点 j 时对应的目标函数值 $C_{total}(P^n \setminus \{j\})$ 最小,则将点 j 放在取走点集合 S 中,并令 $P^n = P^n \setminus \{j\}$;

步骤 4 应用 Teitz 与 Bart 的局部搜索法,将目前取走点集

合 S 中的某一点 r 与选址点集合 P^n 中的一个点置换,若目标函数值 $C_{total}(P^{n(r)})$ 有所改善,则保存置换后的选址点集合, $P^n = P^{n(r)}$, 否则,仍保存前一次的存储方案;

步骤 5 判断 n 值,若 $n=p$,就转向步骤 6,否则转向步骤 3;

步骤 6 对于选址点集合 P^n ,根据步骤 2 中的指派原则,确定保障关系。

由此,可以得出考虑设施失效的 MLDC 选址模型的解,即 MLDC 选址点集合为 P^p 。

5 应用算例

在某次战役中,为了向作战地域内 15 个部队用户($I_1 \sim I_{15}$)快速配送物资,后勤部门决定依托区域内的一个综合保障基地建立 5 个 MLDC,备选地址为 $F_1 \sim F_9$ 。各 MLDC 的固定成本在区间[80,300]内随机产生,每个部队用户的需求量服从正态分布 $N(50, 10^2)$,各备选点处 MLDC 失效概率 q 在区间[0,1]上随机取值,建制保障时配送成本 c_{ij}^1 在区间[1,10]内均匀随机产生,支援保障配送成本 c_{ij}^2 是在 c_{ij}^1 的基础上不超过 100%的向上随机浮动,每个部队用户的越级保障配送成本 c_i^0 服从正态分布 $N(20, 15^2)$ 。由于以上数据均为非负值,若在随机数产生过程产生了负数,则取其绝对值。采用 Matlab7.0 编程求解,求解过程如表 1 所示,获得最优选址方案为 F_2, F_3, F_4, F_5, F_9 。此时,不考虑设施失效情况的最优选址方案为 F_1, F_3, F_6, F_8, F_9 , 可见选址方案有变化。

表 1 贪婪取走启发式算法求解过程

迭代次数	取走点	总成本	设施固定成本	期望正常配送成本	期望应急配送成本
0		2 863.2	2 055.0	628.3	179.7
1	F_6	3 030.6	1 837.0	1 002.5	191.1
2	F_6, F_7	3 213.5	1 681.0	1 344.8	187.7
3	F_6, F_2, F_8	3 278.6	1 445.0	1 619.0	214.6
4	F_1, F_6, F_7, F_8	3 302.3	1 225.0	1 880.1	197.2

为了验证模型的优化效果,采用不同的实验样本对比该文模型结果与不考虑设施失效选址模型结果的差别,记不考虑设施失效的选址模型为 M_1 ,该文模型为 M_2 。 M_1 采用固定成本设施选址模型,在选址方案确定之后,设施失效时物资配送原则与 M_2 中一致,即“首选”MLDC 失效的用户,先由“备选”MLDC 进行支援保障,若“备选”MLDC 也失效,那么由综合保障基地进行越级保障。在验证脚本中,将失效设施的数量设定在一个适中的数目,主要原因是,当失效设施的数量较小时,只有少数用户由“备选”MLDC 进行支援保障或综合保障基地进行越级保障,系统配送成本变化很小;当失效设施数量较大时,大部分的用户由综合保障基地进行越级保障,忽略了“备选”MLDC 对系统配送成本影响,使得两个选址方案的总成本增加值无明显差异;因此这两种情况都不能清晰地说明选址方案之间在经济性上的区别。基于这点考虑,将失效设施的数量设定在待建 MLDC 数量的中值附近,全部脚本都在 Matlab7.0 上进行了编程求解,得到结果如表 2 所示。

由表 2 可知,在各种验证脚本中, M_2 选址方案的总成本、设施失效时最大期望成本增加值高于 M_1 的选址方案,且超出量不超过 7%和 10%;而设施失效时 M_2 选址方案的平均期望成本增加值低于 M_1 的选址方案,两者相差幅度超过 10%。出现

表2 模型结果对比

验证脚本	不考虑设施失效(M_1)		考虑设施失效(M_2)				
	总成本 (C_1)	设施失效时 期望成本增加值		总成本 (C_2)	总成本 增加值 (C_2-C_1)	设施失效时 期望成本增加值	
		最大	平均			最大	平均
$m=9, p=5, c=15, l=2$	3 182.2	923.9	511.3 (16.1%)	3 302.3	120.1 (3.7%)	954.2 (3.3%)	266.7 (8.3%)
$m=15, p=7, c=25, l=3$	5 295.0	3 655.8	1 568.0 (29.6%)	5 454.7	159.7 (3.0%)	3 905.0 (6.8%)	1 073.2 (20.2%)
$m=20, p=11, c=35, l=5$	5 368.1	4 695.0	2 163.8 (40.3%)	5 733.7	365.6 (6.8%)	5 071.0 (8.0%)	1 503.5 (28.0%)
$m=30, p=15, c=45, l=7$	6 427.3	3 173.9	1 991.0 (31.0%)	6 846.9	419.6 (6.5%)	3 515.0 (10.0%)	1 081.7 (16.8%)

注: m 为备选点数量, p 为待建 MLDC 数量, c 为用户数量, l 为失效 MLDC 数量

这种情况的原因是,第一,为了使选址方案的设施固定成本、正常配送成本、应急配送成本之和最小, M_2 在求解过程中舍弃了一些能够使设施固定成本与正常配送成本最小的备选地址点,即以设施固定成本与正常配送成本之和最小的标准来判断,此时选址方案不能实现“最优”,因此 M_2 选址方案的总成本高于 M_1 的选址方案;第二,正是由于 M_2 舍弃了前文所述的一些备选地址点,使得以这些点上的设施为“备选”MLDC的用户,在“首选”设施失效时应急配送成本增加值高于选址方案包括这些地址点的情况,因此会出现 M_2 选址方案的设施失效时最大期望成本高于 M_1 的现象;第三,尽管会出现设施失效时最大期望成本增加值变大的情况,但是由于 M_2 系统地优化了设施固定成本、正常配送成本和应急配送成本,能够在整体上实现设施失效时期望成本增加值的最优,因此平均期望成本增加值偏低。

对后勤部门来说,在前文所述配送过程的规定下,机关参谋人员可以根据决策者的风险属性选择适当的模型优化 MLDC 的布局。若决策者的风险属性是风险厌恶,那么可以采用 M_1 模型,设施失效时模型所得选址方案的最大期望成本增加值较小;若决策者的风险属性是风险中立或风险追求,那么可以采用 M_2 模型,设施失效时模型所得选址方案的平均期望成本增加值较小。另外,由 M_2 所得的选址方案的总成本增加值与平均期望成本增加值之和,小于由 M_1 所得选址方案的平均期望成本增加值。也就是说,决策者在构建配送系统时多投入一些资金可以控制设施失效时系统的资金损失。以 $m=9, p=5, c=15, l=2$ 为例,若选择 M_1 的选址方案,建立配送系统要花费1 206个资金单位,此时未来资金损失的风险是511.83个单位;若选择 M_2 的选址方案,建立配送系统要花费1 352个单位,未来资金损失的风险是266.7个单位。决策者多花费146个资金单位,可以使系统未来的损失降低近50%,这对风险中立或风险追求型决策者制定决策具有非常重要的意义。

6 结束语

针对军事配送系统设计中的 MLDC 布局问题,考虑了保障设施未来失效时的物资配送过程,以设施固定成本、正常配送成本、应急配送成本之和的最小化为优化目标,建立了数学规划选址模型。仿真算例表明,由该文模型得到的选址方案,在经济性方面较不考虑设施失效情况的选址方案具有一定的优越性。这

对我军选择战备物资预置点、优化配送网络结构、降低物流配送成本具有一定的现实意义。

未来对于 MLDC 选址问题的研究可以考虑从以下几个方面着手:(1)MLDC 存在失效可能与能力约束的选址。客观地讲,每个 MLDC 都存在配送能力上限,尽管可以利用民力资源(如民兵或预备役)提升配送能力上限,但是在紧急情况、边远地区或恶劣的自然条件下,可能无法获得民力资源的补充,因此还需要对该文模型进行能力约束下的扩展。(2)考虑支援保障中用户敏捷性要求的选址。从战争实际来看,部队用户的物资需求具有严格的时间约束,在“备选”MLDC 支援保障中这种约束性更强,因此建立满足用户建制保障和支援保障敏捷性要求的选址模型,是一个值得深入研究的问题。(3)结合配送路径的选址。配送路径直接影响、甚至决定着战时物资配送的成败,尽管已有文献[11]涉及此类问题,但还没有探讨设施存在失效可能的选址-路径问题,因此这类问题还需进一步探讨。

参考文献:

- [1] 王宗喜,徐东.军事物流学[M].北京:清华大学出版社,2007.
- [2] 王丰,姜大立,彭亮.军事物流学[M].北京:中国物资出版社,2003.
- [3] Daskin M S.Facility location in supply chain design[R].Northwestern University,2003.
- [4] 张亦弛,晏湘涛,匡兴华.基于多阶响应的航材仓库选址模型[J].计算机工程与应用,2009,45(24):186-189.
- [5] 王莉莉,陈云翔,项华春.基于火力打击的装备物资配送中心选址模型[J].火力指挥与控制,2008,33(9):44-47.
- [6] Lawrence V S,Mark S D.Reliability models for facility location: The expected failure cost case[J].Transportation Science,2005,39(3):400-416.
- [7] Lawrence V S,Mark S D.Models for reliable supply chain network design[R].Northwestern University,2006.
- [8] 龚延成.战时军事物流系统决策理论与方法[D].西安:长安大学,2004.
- [9] 张敏,杨超,杨璐,等.危险品集成物流管理系统选址-选线模型研究[J].管理科学学报,2008,11(1):59-67.
- [10] Ghosh D.Neighborhood search heuristics for the uncapacitated facility location problem[J].European Journal of Operational Research,2003,150:150-162.
- [11] 晏湘涛,匡兴华.一种军事物流配送中心的选址模型[J].工业工程与管理,2008(3):12-15.