

文章编号:1671-1637(2013)03-0086-08

铁路救援基地层级规划选址模型

吴艳华,王富章,李 芳

(中国铁道科学研究院 电子计算技术研究所,北京 100081)

摘要:基于中国铁路组织机构的特点和应急救援现状,提出了铁路救援基地的层级网络建设理念。分析了现有铁路救援基地多目标规划选址模型的不足,将铁路救援基地分为枢纽救援基地和快速救援基地。以最小救援基地总成本和最短救援响应时间为双目标函数,以最大服务距离为约束条件,建立了铁路救援基地多目标层级规划选址模型。采用层次分析法、灰色关联分析与线性参考技术等方法抽象模型参数,采用蚁群算法求解模型,并将计算结果与现有的救援决策方案进行对比。研究表明:应用提出的模型,通过抽象模型参数,可得到26个救援基地备选点、61个服务需求点与188条路径;在完全覆盖事故风险的情况下,救援基地数量减少3个,节约成本约240万元,总救援响应时间、最大平均救援响应时间和最小平均救援响应时间分别降低0.04、0.46、0.29 h。

关键词:铁路救援;应急管理;规划选址;蚁群算法;多目标规划;覆盖模型;参数抽象

中图分类号:U298.6

文献标志码:A

Hierarchical planning location model of railway rescue center

WU Yan-hua, WANG Fu-zhang, LI Fang

(Institute of Computing Technology, China Academy of Railway Sciences, Beijing 100081, China)

Abstract: Based on the characteristic of organization institution and the existing situation of emergency rescue for Chinese railway, the construction concept of hierarchy network for railway rescue center was proposed. The deficiency of existing multi-objective planning location model for railway rescue center was analyzed, and railway rescue center was divided into hub rescue center and fast rescue center. The minimum total cost of rescue center and the shortest rescue response time were taken as double objective functions, the maximum service distance was taken as constraint condition, and the multi-objective hierarchical planning location model was put out. Several methods such as analytic hierarchy process(AHP), gray relational analysis and linear reference technology were used to abstract model parameters, the proposed model was solved by using ant colony optimization(ACO), and the existing rescue decision scheme and the calculation result of proposed model were compared. Research result shows that by using the proposed model, there are 26 preparation points of rescue center, 61 service demand points and 188 paths through parameter abstraction. When accident risk is completely covered, the number of rescue centers decreases by 3, the cost decreases by 2 400 000 yuan, and the total rescue response time, the maximum average rescue response time and the minimum average rescue response time decrease by 0.04, 0.46, 0.29 h respectively. 4 tabs, 3 figs, 20 refs.

Key words: railway rescue; emergency management; planning location; ant colony optimization;

收稿日期:2012-12-18

基金项目:“十一五”国家科技支撑计划项目(2011BAG05B02)

作者简介:吴艳华(1979-),女,辽宁盘锦人,中国铁道科学研究院助理研究员,工学博士,从事铁路应急管理和信息系统研究。

multi-objective planning; coverage model; parameter abstraction

Author resume: WU Yan-hua (1979-), female, assistant researcher, PhD, +86-10-51874576, wuyh2007@163.com.

0 引言

铁路救援基地选址问题,一直是中国铁路应急管理研究中备受关注的研究方向。铁路救援部门是铁路行业的非生产单位,不能创造直接的经济效益,但它却是保障铁路正常运营必不可少的重要环节^[1-2]。国内外的研究表明,交通事故重伤者得到救助的时间与其生存率呈反比,即越早得到救助的伤者会获得越高的存活率,可能的经济损失越低。适当地增加用于完善铁路应急管理工作的基础设施资金投入,能够有效地减少或避免铁路事故的发生风险,能够有效地降低事故带来的各种损失,有助于节约铁路运营成本,有助于提高铁路整体安全水平^[3]。铁路救援基地选址决策,是指运用科学的方法决策铁路救援基地的数量和地理位置,构建铁路救援基地网络,使之与铁路网整体的运作有机地结合,以便有效、经济地达到铁路系统运作的目的,为开展快速、高效的铁路救援奠定坚实的基础。铁路救援规划理论处于铁路行车事故救援理论体系的第一阶段,在整个铁路救援体系中起到不可忽视的基础作用^[4-5]。

国外对于铁路救援基地选址的研究,基本没有形成系统的理论体系,其主要原因在于欧美与日韩等国家与地区的铁路线网相对简单,而公路交通设施选址研究相对较多。Hakimi 提出了高速公路网中警察局位置和数量的问题,并将此问题抽象成顶点覆盖问题^[6];Toregas 等于 1971 年提出覆盖问题的第 1 个数学模型^[7];Verter 等将选址问题广泛地应用于非危险物品的应急服务设施与危险物品运输网络的选址问题中^[8-9]。截至 2011 年 3 月,中国 18 个铁路局(公司)和合资铁路公司共设置 174 列救援列车、238 台救援用起重机,负责铁路应急事故救援工作^[10]。由于中国铁路网的复杂性与救援资源的重要性,近年来,国内学者和研究人员一直针对铁路救援基地与相关设施选址问题开展研究。周慧娟等抽象铁路网,将铁路应急点之间的距离视作区间数,在给定限制期的条件下,利用最小风险路径方法建立铁路应急服务设施点的优化选址模型,并采用绝对中心点法进行求解^[11];龙京等针对铁路应急物资储备点选址问题的独特性,将铁路网划分成相对独立

的较小路段,基于点覆盖线问题的理论,建立适用于铁路应急物资储备点的选址模型,并采用改进的分支剪支搜索算法求解模型^[12]。以上针对铁路救援基地选址的研究,都将救援基地作为具有单一功能的点进行部署,与中国铁路现有的救援基地两级性特点不符,同时模型参数抽象的过程也相对简单。

本文以中国铁路的组织机构特点和应急救援现状为依据,提出救援基地层级建设理念;改进集合覆盖模型,建立以最小救援基地总成本和最短救援响应时间为目标的多目标规划选址模型;在此基础上抽象铁路网,针对模型的 3 个主要参数救援服务需求点、基地备选点和二者间的路径,分别采用灰色关联分析、层次分析法和线性参考技术进行抽象;采用蚁群算法求解模型,并进行实例验证,分析本文提出的铁路救援基地层级规划选址模型对于中国铁路的适用性。

1 铁路救援基地层级特征分析

铁路救援基地是存储和管理铁路应急救援资源的集中场所,是开展铁路救援培训演练的专业基地,是肩负着实施铁路救援任务的专门机构所在地,在提高铁路系统应急服务能力的过程中起着重要的作用。铁路救援基地存储和管理的应急救援资源主要包括大型救援器械、专用救援物资、专业救援人力和技术资源 3 类。根据中国铁路的组织机构特点、救援资源的等级特性和铁路应急救援现状^[13-14],参考国外救援设施的设置情况,提出构建适用于中国铁路的层级救援基地网络理念,网络中的结点分别为枢纽救援基地和快速救援基地。两级铁路救援基地的救援能力是随其储备资源类型、储备资源数量、储备资源的服务能力和建设规模呈现出等级特性的。

层级救援基地网络的思想主要由中国铁路的组织机构特点、铁路救援资源的等级特性和中国现阶段的铁路救援现状决定。首先,中国铁路基础设施的建设、管理、维护和运营,分别由铁道部及其下属的各铁路局(公司)负责,个别私营铁路由其所属的公司单独管理。其次,目前中国铁路主要采用吊复法结合起复法实施事故救援作业,并以救援列车和救援起重机为主体组织配属铁路救援网络、救援资源。不同等级救援列车服务的范围和速度不同,不

同等级的救援起重机的起复能力不同,见表1。最后,现阶段铁路救援列车和救援起重机的配置,也是按照枢纽编组站、铁路局所在地配备救援能力较高的救援列车,其他地区配备一般等级的救援列车的原则。鉴于以上3点,铁路救援基地的设置也应该以中国铁路救援列车的设置现状为依据,构建具有层级服务能力的救援基地网络。

表1 救援列车参数

Tab. 1 Parameters of rescue trains

类型	参数		
	运行速度/($\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$)	起重能力/t	救援半径/km
60 t 固定臂	≤ 80	60	150
100 t 固定臂	80	100	200
160 t 固定臂	85	160	200
160 t 伸缩臂	120	160	200

(1)快速救援基地。快速救援基地(区域救援基地)是为了应对中、小型铁路事故而建设的救援基地场所和救援资源管理机构。快速救援基地通常储备100 t及以下吨位的救援起重机,以及相应的救援列车、配套设备设施。快速救援基地存储为应对中、小型铁路事故所需的应急资源,其占地面积只为存储专业救援器械,配置相应的管理和维护人员。快速救援基地能为距其150 km内的线路事故提供救援服务,主要救援器械的平均速度约为 $70 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$,最大救援响应时间为2.5 h。

(2)枢纽救援基地。枢纽救援基地(路网救援基地)是为了应对重、特大铁路事故而建设的救援基地场所和救援资源管理机构。枢纽救援基地配置100 t及以上吨位的救援起重机,以及相应的救援列车、配套设备设施。枢纽救援基地在应急资源的数量和类型上,较快速救援基地更多、更全面,枢纽救援基地的占地面积和人员配置明显多于快速救援基地。同时,枢纽救援基地还要配备专门的应急救援演练场地,用于开展专门的应急救援模拟演练工作。枢纽救援基地能为距其200 km内的线路事故提供救援服务,主要救援器械的平均速度约为 $100 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$,最大救援响应时间为2.5 h。

从快速救援基地到枢纽救援基地,应急储备资源的类型与数量、救援服务能力和建设规模逐级增强。枢纽救援基地除了能够提供较高救援需求的资源和服务外,当临近的快速救援基地无法独立完成事故救援工作时,枢纽救援基地还可向其提供资源、技术等多方面的支持。

2 铁路救援基地层级选址模型

当前,中国铁路救援基地的设置遵循属地为主的原则,即以铁路局下属的机务段为依托,根据各机务段的所在位置和管理能力等,配备救援物资和大型救援器械。随着铁路网的发展与铁路救援现代化的发展需求,构建更加科学合理的救援基地网络选址理论体系将变得日益迫切。构建铁路救援基地选址模型,须遵循全面覆盖、就近救援、平灾结合和适用性等原则,为了简化模型计算,做出如下假设。

(1)充足性。假设救援基地存储的应急资源能够同时满足其所辖区域内1个或多个事故同时发生时的救援服务需求。

(2)可知性。假设选址模型中的救援基地备选点、救援服务需求点和连通路等变量和参数的值能够通过计算得知。

(3)可达性。如果救援基地所管辖范围内的铁路线路上发生事故,则认为救援基地的资源可以被运达至救援服务需求点,而不考虑运输过程中出现其他因素阻止资源到达服务需求点。

(4)确定性。结合救援列车的实际情况,设定枢纽救援基地和快速救援基地的最大服务距离分别为200、150 km;枢纽救援基地和快速救援基地的建设管理维护成本分别为140、80万元。

令 i 为救援服务需求点(以下简称需求点); j 为枢纽救援基地备选点(以下简称枢纽备选点), J 为枢纽备选点集合; k 为快速救援基地备选点(以下简称快速备选点), K 为快速备选点集合; c_j 、 c_k 分别为建设和管理维护枢纽救援基地 j 与快速救援基地 k 所花费的总成本; d_{ij} 、 d_{ik} 分别为需求点 i 与枢纽备选点 j 、需求点 i 与快速备选点 k 之间的距离; v 为枢纽备选点救援列车的平均运行时速; u 为快速备选点救援列车的平均运行时速; T_j 、 T_k 分别为枢纽备选点 j 、快速备选点 k 的平均救援响应时间; J_i 为与需求点 i 距离为200 km内的枢纽备选点 j 的集合; K_i 为与需求点 i 距离为150 km内的快速备选点 k 的集合; x_j 、 x_k 均为0-1决策变量,当枢纽备选点 j 被选中时 x_j 取1,否则为0,当快速备选点 k 被选中时 x_k 为1,否则为0。

为了满足铁路救援基地规划建设的需求,在不考虑现有救援机构对规划决策影响和约束的基础上,改进集合覆盖模型,增加平均救援响应时间目标,构建适用于规划决策的多目标选址模型。铁路救援基地层级规划选址模型为

$$\min V = \omega_1 p_1 V_1 + \omega_2 p_2 V_2 \quad (1)$$

$$V_1 = \sum_{j \in J} c_j x_j + \sum_{k \in K} c_k x_k \quad (2)$$

$$V_2 = \sum_{j \in J} T_j + \sum_{k \in K} T_k \quad (3)$$

$$\text{s. t. } \sum_{j \in J_i} x_j + \sum_{k \in K_i} x_k \geq 1 \quad (4)$$

$$d_{ij} \leq 200 \quad (5)$$

$$d_{ik} \geq 150 \quad (6)$$

$$x_j, x_k \in \{0, 1\} \quad (7)$$

$$p_1 = (c_j - c_{\min}) / (c_{\max} - c_{\min}) \quad (8)$$

$$p_2 = (T_j - T_{\min}) / (T_{\max} - T_{\min}) \quad (9)$$

式中: V 为总目标函数; ω_1 、 ω_2 分别为成本目标函数 V_1 和救援响应时间目标函数 V_2 的权重; p_1 、 p_2 分别为 V_1 和 V_2 的归一化处理参数; c_{\max} 为最大总成本; c_{\min} 为最小总成本; T_{\max} 为最大总救援响应时间; T_{\min} 为最小总救援响应时间。式(4)保证每个需求点都有至少1个救援基地为其提供服务;式(5)保证枢纽备选点的最大服务距离不大于200 km;式(6)保证快速备选点的最大服务距离不大于150 km;式(7)~(9)为赋值完整性约束。

3 模型参数抽象过程

铁路救援基地层级选址模型的建立,是为了更好地规划铁路救援基地网络。在模型实际应用的过程中,需要确定各参数具体值。根据铁路线的分布和实际情况,提取出救援基地备选点、需求点以及各点的权重、距离。将模型抽象表达为计算机中的图,将备选点、需求点抽象为图中的节点,将二者间的路径抽象为节点间的弧。

3.1 需求点抽象

需求点的抽象主要受环境风险、周边危险源和历史事故发生情况3个主要因素的影响,本文采用灰色关联分析法,确定各个因素对需求点抽象影响作用的大小。综合分析铁路历史事故次数和时间年份曲线与危险源和时间年份曲线、环境风险和时间年份曲线、历史事故发生地和时间年份曲线间的几何相似程度,得到各个因素对事故发生次数的影响,从而判断各个因素在需求点抽象过程中的影响程度。参考文献[15-17],得到事故概率与危险源分布情况、环境风险因素和历史事故数间的灰色关联度系数分别为0.81、0.87、0.48。在抽象需求点的过程中,可通过求得各点周边的危险源情况、环境风险情况和历史事故情况综合求得事故发生概率,则有

$$Z_i = 0.81e_i + 0.87r_i + 0.48a_i \quad (10)$$

式中: Z_i 为需求点 i 的综合风险量化值; e_i 为需求点的环境风险量化值; r_i 为周边危险源量化值; a_i 为历史事故量化值。

3.2 备选点抽象

影响备选点抽象的因素主要包括机务救援基地分布情况、线路密度、辅助运输方式和公共机构分布情况。由于各个因素对备选点的影响程度不同,以铁路救援专家评判为依据,采用层次分析法和数量化理论确定各个因素(项目)的影响权重。备选点抽象影响因素评价项目权重见表2, A_1 、 A_2 、 A_3 、 A_4 分别为救援基地备选点周围机务设备分布状况、周边线路密度状况、辅助运输方式状况、公共机构分布状况。

表2 影响因素权重

Tab. 2 Weights of influence factors

项目	A_1	A_2	A_3	A_4
权重	0.56	0.26	0.12	0.06
重要程度值	4	3	2	1

在采用单层次评估模型确定了各个因素(项目)的影响权重后,依据数量化理论对各个因素(项目)的权重进行分级评分,共有4个项目与3级子项目,见表3。

表3 影响因素等级划分

Tab. 3 Grade division of influence factors

序号	项目	子项目与等级		
		I	II	III
1	机务设备分布/km	≥ 30	20~30	≤ 20
	子项目评分	4	8	12
2	线路密度/条	1	2	≥ 3
	子项目评分	3	6	9
3	辅助运输方式/km	≥ 25	1~25	≤ 1
	子项目评分	2	4	6
4	公共机构分布/km	≥ 30	20~30	≤ 20
	子项目评分	1	2	3

利用表3对样本进行综合评价预测时,则有

$$R = \sum_{p=1}^4 \sum_{q=1}^3 \delta_{pq} \quad (11)$$

式中: R 为样本综合评价得分值; δ_{pq} 为第 p 个项目的第 q 个子项目的得分值。

样本落在哪个子项目中,则取该子项目当前评分值,其余各项为0。当 $R \geq 20$ 时,评价结果为有利于抽象为备选点;当 $10 \leq R < 20$ 时,评价结果为可以抽象为备选点;当 $R < 10$ 时,评价结果为不利于抽象为备选点。

3.3 连通路程抽象

铁路网是客观存在的,以铁路网真实情况为基础对需求点和备选点之间的连通路程进行抽象。铁路线路上两点间的距离,不能简单地用地理位置上点到点间的直线距离来表示,而要根据铁路线路的实际里程表,借助于铁路地理信息系统中的线性参考技术求得。铁路救援基地选址模型中需求点和备选点间连通路程的抽象,是以铁路应急平台地理信息子系统和铁路基础地理信息平台的线性参考里程数据为基础,依次抽象得出。

4 模型求解的蚁群算法

基于铁路救援基地层级规划选址模型的描述,本文给出求解此模型的蚁群算法。同时,为了计算的便捷,在算法中不须区分枢纽备选点 j 和快速备选点 k 的位置,均用备选点 j 来代替(启发系数除外)。

令蚁群的最大迭代次数为 M ,初始时刻为 t_0 ,蚁群中有 n 只蚂蚁, $J_{mij}(t)$ 为第 m 次迭代过程中时刻 t 蚂蚁 n 还未访问的备选点 j 的集合, $I_{mni}(t)$ 为第 m 次迭代过程中时刻 t 蚂蚁 n 已访问的备选点 j 还未覆盖的需求点 i 的集合, $I_{mij}(t)$ 为第 m 次迭代过程中时刻 t 蚂蚁 n 将要访问的备选点 j 所能覆盖的需求点 i 的集合。

根据铁路救援基地层级规划选址模型,蚁群算法的概率转移函数为

$$P_{mij}(t) = \begin{cases} \frac{(\tau_{mij})^\alpha [\eta_{mij}(t)]^\beta}{\sum_{j \in J_{mij}(t)} (\tau_{mij})^\alpha [\eta_{mij}(t)]^\beta} & j \in J_{mij}(t) \\ 0 & j \notin J_{mij}(t) \end{cases} \quad (12)$$

式中: $P_{mij}(t)$ 为第 m 次迭代过程中时刻 t 蚂蚁 n 从当前救援基地备选点转移到待访问的备选点 j 的概率转移函数; τ_{mij} 为第 m 次迭代过程中备选点 j 的信息素浓度,其中第 1 次迭代过程各信息素浓度 τ_{1j} 为 1; $\eta_{mij}(t)$ 为第 m 次迭代过程中时刻 t 蚂蚁 n 访问备选点 j 的启发系数; α 、 β 分别为信息启发因子和期望启发因子。

概率转移函数决定将要访问哪一个备选点,通过比较各备选点 j 的 $P_{mij}(t)$ 值,选择概率函数值大的备选点进行访问。信息素浓度描述了算法的迭代次数对概率转移函数的影响,有

$$\tau_{(m+1)j} = (1 - \rho)\tau_{mij} + \Delta\tau_{mij} \quad (13)$$

式中: ρ ($0 < \rho < 1$) 为信息素挥发系数; $\Delta\tau_{mij}$ 为第 m 次迭代过程中备选点 j 的信息素变化量。

由于每次迭代的最终目标是覆盖全部需求点,因此,一次迭代过程中每只蚂蚁并不是访问所有备选点,未被访问到的备选点的信息素变化量为 0;同时,一次迭代过程中蚂蚁对备选点的访问次数也有多有少,为了防止某些备选点被访问的次数过多导致信息素变化量过大,将信息素变化量描述为

$$\Delta\tau_{mij} = \begin{cases} Qf_{mij}/S_{mij} & j \in J_m \\ 0 & j \notin J_m \end{cases} \quad (14)$$

式中: Q 为信息素强度; f_{mij} 为第 m 次迭代过程中备选点 j 被访问的总次数; S_{mij} 为第 m 次迭代过程中备选点 j 被访问过程中途经的备选点数量和; J_m 为第 m 次迭代过程中访问过的备选点集合。

概率转移函数中的启发系数描述了一次迭代过程中每只蚂蚁的访问对概率转移函数的影响,表现为

$$\eta_{mij}(t) = \frac{f(I_{mni}(t) \cap I_{mij}(t))}{f(I_{mni}(t))} \quad j \in J_{mij}(t) \quad (15)$$

式中: $f(\cdot)$ 为取 (\cdot) 中元素的数量。

由于枢纽备选点的最大服务距离较快速备选点的多 25%,枢纽备选点覆盖的需求点数量明显多于快速备选点,为了防止计算过程中快速收敛于枢纽备选点,则快速备选点 k 的启发系数为

$$\eta_{mjk}(t) = \frac{5f(I_{mni}(t) \cap I_{mjk}(t))}{4f(I_{mni}(t))} \quad k \in J_{mjk}(t) \quad (16)$$

式中: $\eta_{mjk}(t)$ 为第 m 次迭代过程中时刻 t 蚂蚁 n 访问快速备选点 k 的启发系数; $I_{mjk}(t)$ 为第 m 次迭代过程中时刻 t 蚂蚁 n 将要访问的快速备选点 k 所能覆盖的需求点 i 的集合; $J_{mjk}(t)$ 为第 m 次迭代过程中时刻 t 蚂蚁 n 还未访问的快速备选点 k 的集合。

根据蚁群算法求解规划选址模型的具体步骤^[18-20],结合层级规划选址模型中概率转移函数、信息素浓度变化函数和启发系数,蚁群算法求解铁路救援基地层级规划选址模型的流程见图 1。

5 计算结果分析

南昌铁路局现有救援列车 14 列分布于局管各线路上,实现了对局管线路的全部覆盖。其中位于向塘、赣州和来舟的 3 列救援列车服务能力较高,运行速度较快;其余 11 列救援列车的服务能力和运行速度相对较低。根据模型参数抽象方法,抽象得到 26 个救援基地备选点,其中 3 个枢纽备选点,61 个事故救援服务需求点,备选点和需求点见图 2。

以现有救援列车的设置原则与救援专家的意见

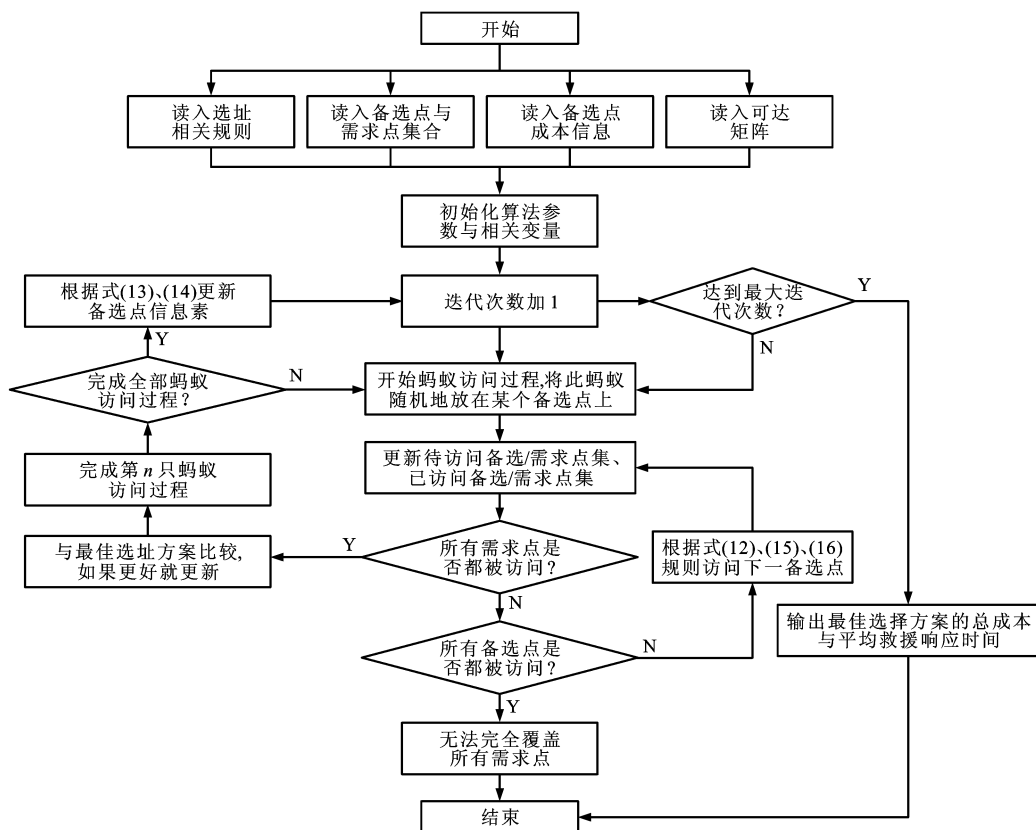


图1 算法流程

Fig. 1 Algorithm flow

为基础,赋予层级规划选址模型中2个目标函数的权重 w_1 与 w_2 分别为0.65和0.35。采用蚁群算法求解层级规划选址模型,设置蚁群算法的最大迭代次数为100次,蚂蚁数量为50只,信息启发因子 α 、 β 均为2,信息素挥发因子 ρ 为0.1,信息素强度 Q 为1.5。采用MATLAB编程求解模型。蚁群算法求解模型的1次迭代过程约为2.4 s,备选点数量在第3次迭代时收敛到最小值11,目标函数 V_2 在第18次迭代时收敛到最小值0.99 h,整个迭代过程约为4 min,结果见图3。

采用提出的铁路救援基地层级规划选址模型得到决策方案:规划建设11个救援基地,节点序号分别为2、5、6、8、10、13、16、19、20、23、25,即选取分宜、向塘、九江西、贵溪、景德镇、福州东、外洋、长基、杏林、龙岩东、赣州东作为救援基地,其中向塘为枢纽救援基地,其余10个为快速救援基地。本文决策方案与南昌铁路局当前决策方案的对比见表4。

由表4可以看出,在完全覆盖事故风险的情况下,本文的决策方案比当前决策方案减少设置救援基地3个,节约成本约240万元,总救援响应时间、最大平均救援响应时间和最小平均救援响应时间分

别降低0.04、0.46、0.29 h。

表4 决策方案比较

Tab. 4 Comparison of decision schemes

方案	参数					
	建设救援基地数量/个	建设管理维护成本/万元	需求点风险覆盖率/%	总救援响应时间/h	最大平均救援响应时间/h	最小平均救援响应时间/h
当前方案	14	1 180	100	1.53	2.41	0.93
本文方案	11	940	100	1.49	1.95	0.64

为考察蚁群算法求解层级规划选址模型的性能,将本文算法与文献[12]中分支剪支搜索算法进行比较,虽然得到的结果与本文算法相同,但后种算法搜索到最优解的时间比本文算法长3 min,并且随着模型节点的增多,后种算法的求解时间明显增加,效率快速下降。

6 结 语

根据中国铁路组织机构特点和救援现状,提出枢纽和快速救援基地层级建设理念,在此基础上提出救援基地层级规划选址模型和应用方法,将模型应用于南昌铁路局得到决策方案。通过比较本文提出的决

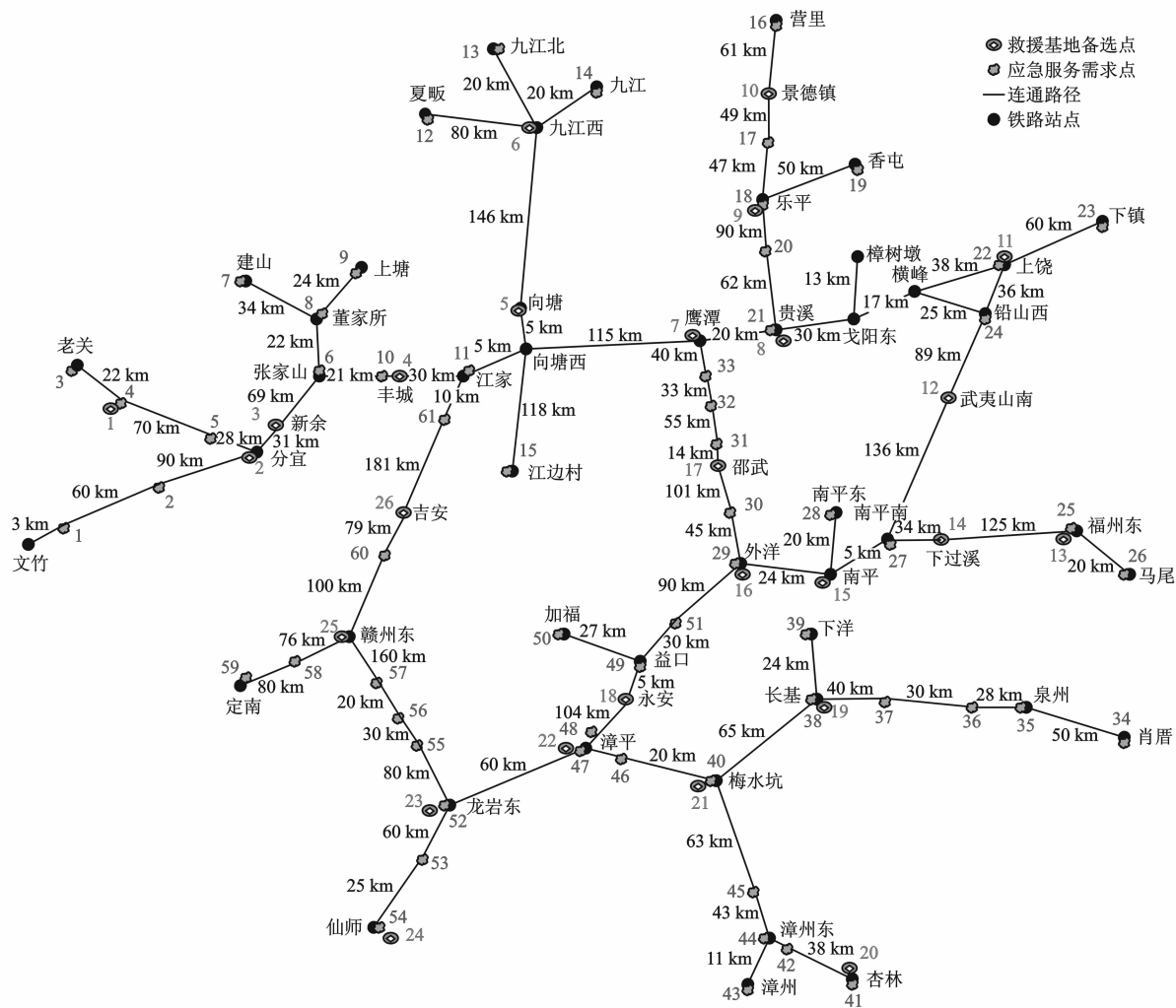


图2 备选点与需求点

Fig. 2 Preparation points and demand points

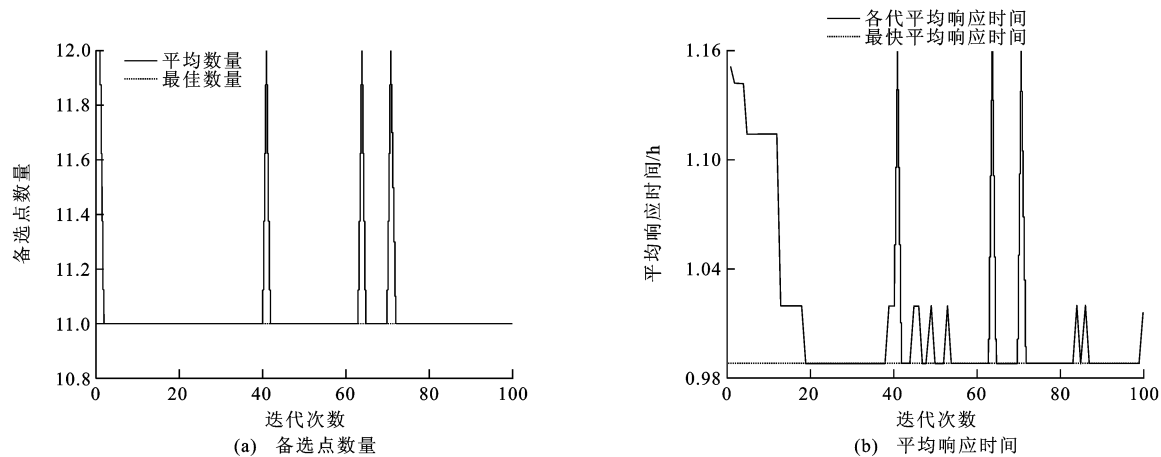


图3 收敛过程

Fig. 3 Convergence process

策方案和当前现状可以看出,本文提出的决策方案在建设成本、总救援响应时间和最大、最小平均救援响应时间等各方面均优于当前决策方案。随着铁路救援新装备和新技术的应用,如何针对不同救援需求时

段铁路网规模 and 不同救援对象(人员、货物),开展动态的铁路救援基地规划选址研究,将是下一阶段的研究重点。同时,由于高速铁路在救援方法、技术和器械等方面都与既有铁路存在很大差异,开展高铁救援

基地选址理论的研究,也是下一步的研究重点。

参考文献:

References:

- [1] 张殿业,金键,杨京帅. 铁路运输安全理论与技术体系[J]. 中国铁道科学, 2005, 26(3): 114-118.
ZHANG Dian-ye, JIN Jian, YANG Jing-shuai. Theoretic and technical research framework of railway transportation safety[J]. China Railway Science, 2005, 26(3): 114-118. (in Chinese)
- [2] 张殿业,金键,郭孜政,等. 铁路行车事故救援理论与技术体系探讨[J]. 铁道学报, 2006, 28(5): 11-15.
ZHANG Dian-ye, JIN Jian, GUO Zi-zheng, et al. Exploration of the theoretic and technical systems of train operation accident emergency and rescue[J]. Journal of the China Railway Society, 2006, 28(5): 11-15. (in Chinese)
- [3] 张杰,苗金明,周心权,等. 安全生产效益的分析评价及其与安全投入的关系[J]. 中国安全科学学报, 2009, 19(3): 50-54.
ZHANG Jie, MIAO Jin-ming, ZHOU Xin-quan, et al. Analysis and evaluation on the effect of work safety and its relation with safety investment[J]. China Safety Science Journal, 2009, 19(3): 50-54. (in Chinese)
- [4] 吴艳华. 铁路救援基地选址模型与应用研究[D]. 北京: 中国铁道科学研究院, 2011.
WU Yan-hua. Research on model and application of railway rescue center location[D]. Beijing: China Academy of Railway Sciences, 2011. (in Chinese)
- [5] 刘仍奎,程晓卿,孙全欣. 铁路事故救援系统的构建研究[J]. 中国安全科学学报, 2004, 14(11): 43-47.
LIU Reng-kui, CHENG Xiao-qing, SUN Quan-xin. Study on construction of emergency rescue system for railway[J]. China Safety Science Journal, 2004, 14(11): 43-47. (in Chinese)
- [6] HAKIMI S L. Optimum distribution of switching centers in a communication network and some related graph theoretic problems[J]. Operations Research, 1964, 13(3): 462-475.
- [7] TOREGAS C, SWAIN R, REVELLE C, et al. The location of emergency services facilities[J]. Operations Research, 1971, 19(6): 1363-1373.
- [8] VERTER V, LAPIERRE S D. Location of preventive health care facilities[J]. Annals of Operations Research, 2002, 110(1/2/3/4): 123-132.
- [9] BERMAN O, VERTER V, KARA B Y. Designing emergency response networks for hazardous materials transportation[J]. Computers and Operations Research, 2007, 34(5): 1374-1388.
- [10] 牛宏睿. 铁路应急资源优化调度问题的研究及系统实现[D]. 北京: 中国铁道科学研究院, 2009.
NIU Hong-rui. Study and system implementation on railway emergency resource optimization and dispatch [D]. Beijing: China Academy of Railway Sciences, 2009. (in Chinese)
- [11] 周慧娟,贾利民. 基于区间数的铁路应急服务设施点选址优化[J]. 物流技术, 2010, 29(12): 129-132.
ZHOU Hui-juan, JIA Li-min. Interval-based location optimi-
- zation of railway emergency service facilities [J]. Logistics Technology, 2010, 29(12): 129-132. (in Chinese)
- [12] 龙京,黄钢,王孟钧,等. 铁路应急物资储备点选址[J]. 交通运输工程学报, 2011, 11(1): 74-78.
LONG Jing, HUANG Gang, WANG Meng-jun, et al. Reserve depot location of railway emergency material [J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2011, 11(1): 74-78. (in Chinese)
- [13] 李小平,唐士晟. 铁路救援指挥系统中IDSS的构建方法研究[J]. 铁道学报, 2008, 30(5): 20-24.
LI Xiao-ping, TANG Shi-sheng. Research of construction method of IDSS in the railway rescue command system [J]. Journal of the China Railway Society, 2008, 30(5): 20-24. (in Chinese)
- [14] 陈昭明,王林泽,马林. 铁路事故救援辅助决策系统的研究[J]. 铁道学报, 2004, 26(5): 8-13.
CHEN Zhao-ming, WANG Lin-ze, MA Lin. Study on railway rescue decision aiding system [J]. Journal of the China Railway Society, 2004, 26(5): 8-13. (in Chinese)
- [15] 穆瑞,张家泰. 基于灰色关联分析的层次综合评价[J]. 系统工程理论与实践, 2008, 28(10): 125-130.
MU Rui, ZHANG Jia-tai. Research of hierarchy synthetic evaluation based on grey relational analysis [J]. Systems Engineering—Theory and Practice, 2008, 28(10): 125-130. (in Chinese)
- [16] 柳林,陈钠. 基于灰色关联分析的城市轨道交通项目可持续发展评价[J]. 铁道运输与经济, 2008, 30(6): 46-49.
LIU Lin, CHEN Na. Evaluation on sustainable development of urban rail transit project based on grey relational analysis [J]. Railway Transport and Economy, 2008, 30(6): 46-49. (in Chinese)
- [17] 孙勇成,周献中,李桂芳,等. 基于灰色关联分析的仿真模型验证及其改进[J]. 系统仿真学报, 2005, 17(3): 522-524.
SUN Yong-cheng, ZHOU Xian-zhong, LI Gui-fang, et al. Validation of simulation models based on grey relational analysis and improvement [J]. Journal of System Simulation, 2005, 17(3): 522-524. (in Chinese)
- [18] 段海滨,王道波,于秀芬. 蚁群算法的研究现状及其展望[J]. 中国工程科学, 2007, 9(2): 98-102.
DUAN Hai-bin, WANG Dao-bo, YU Xiu-fen. Ant colony algorithm: survey and prospect [J]. Engineering Science, 2007, 9(2): 98-102. (in Chinese)
- [19] 张勇德,黄莎白. 多目标优化问题的蚁群算法研究[J]. 控制与决策, 2005, 20(2): 170-173.
ZHANG Yong-de, HUANG Sha-bai. On ant colony algorithm for solving multiobjective optimization problems [J]. Control and Decision, 2005, 20(2): 170-173. (in Chinese)
- [20] 陈立伟,唐权华. 基于蚁群算法的离散救援问题出救点选址研究[J]. 计算机应用研究, 2010, 27(11): 4152-4154.
CHEN Li-wei, TANG Quan-hua. Research on depot location of discrete emergency aid based on ACO [J]. Application Research of Computers, 2010, 27(11): 4152-4154. (in Chinese)