

武装, 刘晨君, 张祎, 等. 国家应急物资储备基地选址模型与平台设计[J]. 灾害学, 2023, 38(3): 162–167. [WU Zhuang, LIU Chenjun, ZHANG Yi, et al. Study on Location Model and System Design of National Emergency Material Reserve Base [J]. Journal of Catastrophology, 2023, 38(3): 162–167. doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2023.03.025.]

国家应急物资储备基地选址模型与平台设计^{*}

武 装, 刘晨君, 张 祎, 王雅婷

(首都经济贸易大学 管理工程学院, 北京 100070)

摘 要: 国家级应急物资储备基地的选址布局, 是宏观应急管理 with 资源配置的关键环节与基础问题。该文首先构建了国家宏观层面应急物资储备地选址规划模型, 选取了我国 28 个省城(直辖市)作为应急物资储备基地备选城市, 又作为所在区域突发灾害后的首要应急需求城市两种角色来研究; 通过算法对比, 选择变邻域搜索算法(VNS)进行模型求解, 结果表明国家级应急物资储备基地设置 8 个为宜, 并在此基础上设计了国家应急物资储备基地选址平台。模型求解显示行政限制选址获得的是近似最优解, 但其应急救援结构效率高于不限选址情况。结果表明选址模型与选址平台系统可行, 案例算法显示选用算法具有一定的合理性。

关键词: 应急管理, 应急储备基地; 选址平台; 变邻域算法

中图分类号: X43; X921; X915.5; F25 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-811X(2023)03-0162-06

doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2023.03.025

中国是世界上灾害频发的国家之一^[1], 重大突发灾害和风险事件严重威胁着人民生命财产安全, 对我国应急物资储备、运输和分配等应急救援减灾工作体系产生了巨大的挑战^[2]。1998 年我国政府在全国设立 8 个中央级救灾物资储备仓库, 2003 年增加至 10 个, 2008 年之后增加至 24 个, 增长了 140%^[3]。同时, 各省市也加大力度建设各自的储备库。总之, 从数量视角看, 我国各级应急救援物资储备基地的建设都取得了前所未有的发展和提升^[4]。但是如何科学的确定我国国家级应急物资储备基地设施数量及优化布局, 仍是亟待研究与解决的问题。

为了更好地应对突发事件过程中所需要的各类应急物资, 许多学者探讨了如何合理确定应急物资储备库地址的问题^[5]。刘晋等^[6]提出基于自适应遗传算法的应急物资储备库选址模型。郭子雪^[7]研究了基于区间数的区域应急物资储备库选址问题的模糊多目标决策方法。罗振敏^[8]讨论了应急物资储备库选址影响因素, 总结了不同文献使用的不同算法与优化指标。同时, 一些国内学者根据不同城市与不同情景下的不同特征, 讨论了应急物资储备库的选址问题^[9-14]。关于国家级物资储备中心讨论, 郝蒙浩等^[3]提出了情况各异的各个地区所配备响应的应急设施数量可以不同, 且保障一个地区救灾需求需要配置的设施点数量应与该地区多方面的因素有关。陈黛^[15]基于地震的风险分布特征, 运用 Voronoi 图和缓冲区分析, 研究了应急响应分区和不同时限下的响应覆盖空间结构。而高红^[16]则认为国家级的应急物资储备

中心数量少, 定性分析了储备规模需要进一步优化。

然而, 目前研究成果多侧重于应急物资储备基地选址方法分析, 且仅考虑单一因素, 而较少有结合国家、地区实际情况和现实需要的研究, 缺少综合分析多种影响因素建模。从现实角度看, 国家级应急物资储备基地的特殊意义, 导致其应对范围、救援目标、物资储备范围、合理建设数量等问题值得探讨与分析。国家级应急物资储备点选址布局是应急管理 with 资源配置的关键环节与基础问题^[17], 如何确定合理的国家级物资储备基地数量, 大规模地建设国家级物资储备基地是否经济值得商榷^[4], 如何更专业化储备物资、分区建设与区域运作管理等问题亟待研究与解决。

本文结合我国国情、省情和灾情来研究优化布局国家级应急物资储备基地的选址数量及分布, 通过建模、算法选取与设计选址平台提高选址的科学性。基于上述国家级应急物资储备点考虑的问题, 本文提出国家级与省级应急物资储备基地数量应大致保持 1:5 至 1:8 的比例, 并选取模型算法进行论证。按照本文算法推算的应急物资设施点数量和布局位置, 目前需要建设 8 个国家级应急物资储备基地, 这样每一个需求城市都至少被一个国家储备基地提供应急响应服务, 而且有 70% 以上省份城市能够被 2~5 个国家级应急物资储备基地的响应救援保障所覆盖。基于所得成果, 本文还设计了国家应急物资储备基地选址平台。本文通过对国家应急物资储备基地选址的分析与探讨, 期望对我国国家级和省级应急物资储备设施选址和优化布局有一定的借鉴意义。

^{*} 收稿日期: 2022-09-28 修回日期: 2023-02-13

基金项目: 教育部高等学校科学研究发展中心“中国高校产学研创新基金”(2021LDA11003); 首都经济贸易大学 2022 年校级教改项目

第一作者简介: 武装(1970-), 男, 汉族, 河北唐山人, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事决策优化与管理、计算智能、智能信息处理、大数据与应急管理等方面研究。E-mail: wuzhuang@cueb.edu.cn

表 1 符号定义表

符号	定义	符号	定义
U	应急需求点或受灾点的集合, $i \in I$	D	设施点 j 到受灾点 i 间救援空间交通的极限距离
V	备选的应急基地设施点集合, $j \in J$	z	任意基地设施点到任意受灾点的最长距离
n_i	被实际选取服务应急需求点 i 的应急设施数量	P	最终实际建设应急救援基地设施点的数量
d_{ij}	设施点 j 到受灾点 i 之间的空间交通距离	d_{jk}	设施点 j 与设施点 k 之间的空间交通距离

1 模型构建

1.1 模型假设条件

假设 1: 假定国家应急物资储备基地库存容量大、各类物资储备充足, 即其应急物资供应能力满足所覆盖的需求点的物资需求, 暂不考虑应急物资种类等问题;

假设 2: 假定最终选择储备基地设施点数为 P , 其建设应遵循科学经济原则;

假设 3: 受灾点和设施点之间的距离可通过相关信息平台查询获得;

假设 4: 每个应急受灾点至少需要一个基地储备点提供救援物资, 而且应急储备点对受灾需求点服务覆盖满意程度随其到受灾需求点距离的增加而递减。

1.2 模型符号与定义

模型参数与变量符号定义具体如表 1 所示。

1.3 选址模型

构建国家应急救援物资储备基地选址的数学目标规划函数与约束条件如下:

$$\min W(P) = \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} x_{ij} d_{ij}; \quad (1)$$

$$\text{s. t. } \sum_{j \in J} x_{ij} = n_i, \forall i; \quad (2)$$

$$1 \leq n_i \leq P, \text{ 且为正整数, } \forall i; \quad (3)$$

$$x_{ij} \leq y_j, \forall i, j; \quad (4)$$

$$\sum_{j \in J} y_j = P; \quad (5)$$

$$z \geq \max_{j \in J} (d_{ij} | x_{ij} = 1), \forall i; \quad (6)$$

$$z \leq D; \quad (7)$$

$$D(P) = v \cdot T_0; \quad (8)$$

$$x_{jk} > 400, \forall j \neq k, j, k \in J; \quad (9)$$

$$P \leq 10; \quad (10)$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\}, y_j \in \{0, 1\}, \forall i, j. \quad (11)$$

上述模型中, 目标函数式(1)表示在满足宏观应急救援需求的条件下, 国家应急物资储备基地数 P 应尽可能最少; 式(2)表示第 i 个受灾需求点配备的基地设施点数; 式(3)表示任何一个应急需

求点至少被一个国家储备基地服务覆盖, 但不超过国家基地点总数; 式(4)表示每一个受灾需求点始终有应急基地提供服务; 式(5)表示规定了应急基地设施点总数为 P 个; 式(6)中变量 z 表示应急受灾点与基地设施响应分配点间距离中最长的距离; 式(7)表示受灾点与基地响应点间的最长距离小于或等于约定的极限救援距离 D ; 式(8)表示出救点 j 与受灾点 i 之间的最大距离取决于物资运输车辆的平均速度 v 与最大配送限定时间 T_0 的乘积; 式(9)表示应急基地 j 与应急基地 k 之间的距离大于 400 km; 式(10)表示国家应急基地设施点总数 P 不超过 10 个; 式(11)表示 x_{ij} 、 y_j 均为 1~0 决策变量, $y_j = 1$ 时表示第 j 个备选基地点 v_j 被选中; x_{ij} 表明受灾点 u_i 被指定给应急基地 v_j 来提供物资服务。

2 模型数据

求解上述目标函数模型应搜集如下数据: ①初步筛选备选应急救援物资储备基地设施点集合 $V = \{v_j | j = 1, 2, \dots, n\}$; ②应急救援需求点城市集合 $U = \{u_i | i = 1, 2, \dots, m\}$; ③ $u_i (i = 1, 2, \dots, m)$ 到备选应急物资储备基地设施点 $v_j (v_j \in V)$ 的距离 $d(u_i, v_j)$; ④设施点到受灾点的极限距离 D 。

2.1 省(直辖市)应急物资储备基地配备数量分析

郝蒙浩等^[3]提出省(直辖市)配备应急储备基地数量要与保障地区人口、历史灾害情况、当地民众防灾素质等有关系。我们认为还应和所在省(直辖市)需求地的经济发展水平、灾害种类及可能发生最大灾害的级别与概率等影响因素密切相关。由于评估省(直辖市)级应急物资储备基地因素中有定量测量指标和定性评估指标, 因此, 可采用专家评估与层次分析法(AHP)等进行综合评价。本文考虑到北京市的首都功能和上海市周边城市群的安全发展需求, 应配置 3 个省级储备基地, 对于评估排名后三分之一的省份设置 1 个省级储备基地, 其余省份设置 2 个省级储备基地。最终选定 54 个省级应急物资储备基地(表 2)。

表 2 省(直辖市)需要配备的应急物资储备基地数量

省(直辖市)	储备基地数	省(直辖市)	储备基地数	省(直辖市)	储备基地数	省(直辖市)	储备基地数
北京	3	浙江	2	广西	2	辽宁	1
上海	3	河南	2	贵州	2	吉林	1
重庆	2	河北	2	江西	2	青海	1
天津	2	福州	2	云南	2	宁夏	1
四川	2	安徽	2	黑龙江	2	新疆	1
山东	2	湖北	2	山西	1	西藏	1
广东	2	湖南	2	甘肃	1	海南	1
江苏	2	陕西	2	内蒙古	1		

注: 表 2 基于我国大陆地区分析, 暂不考虑我国的香港、澳门和台湾地区。

表3 应急储备基地备选城市/应急需求城市表

编号	备选/需求城市	编号	备选/需求城市	编号	备选/需求城市	编号	备选/需求城市	编号	备选/需求城市
1	北京	7	长春	13	福州	19	广州	25	西安
2	天津	8	哈尔滨	14	南昌	20	南宁	26	兰州
3	石家庄	9	上海	15	济南	21	重庆	27	西宁
4	太原	10	南京	16	郑州	22	成都	28	银川
5	呼和浩特	11	杭州	17	武汉	23	贵阳		
6	沈阳	12	合肥	18	长沙	24	昆明		

注：表3中编号根据《国家统计年鉴2021》全国行政区划省级区划名称排序。

表4 三种算法通过随机初始解产出结果对比表(选择北京)

设施数	算法	运算时间/s	评价函数	误差/%	设施数	算法	运算时间/s	评价函数	误差/%
5	VNS	4 822.04	22 810	1.86	8	VNS	1 815.74	15 956	1.08
	TS	12 045.10	23 832	3.33		TS	11 542.84	14 296	14.75
	IA	462.94	24 055	3.33		IA	305.03	15 874	4.41
6	VNS	5 686.71	22 455	8.47	9	VNS	1 970.45	14 287	0.19
	TS	12 943.41	21 340	8.47		TS	11 665.52	13 107	5.27
	IA	429.32	21 909	5.69		IA	392.10	14 423	5.27
7	VNS	2 482.17	19 970	0.15	10	VNS	2 009.43	11 963	1.15
	TS	10 831.08	19 372	0.15		TS	9 803.89	10 053	1.15
	IA	381.19	21 100	0.15		IA	376.95	10 485	0.00

2.2 备选应急物资储备基地地点集合

国家级应急物资储备基地设施的布局是一个战略规划问题，一要考虑交通便利，二要考虑水文地理符合。此外，备选基地设施点最好临近飞机场，在特殊情况下，便于开展运输时间紧迫而又重要的物资应急救援工作。因此，考虑备选国家级应急物资储备基地地点为各省的省城为宜。而乌鲁木齐和拉萨远离中国其他省市，大于本文模型设置的最远极限距离，不符合模型的基本条件。同样情况，海南省、香港和台湾地区也应排除。因此，本文中国家级备选储备基地的数目为28个(表3)。

2.3 应急受灾需求城市(点)集合

为了便于分析，模型中将中国省会城市作为受灾地的应急物资需求城市。但是拉萨、乌鲁木齐、海南、台湾、香港和澳门特别行政区等不列入需求城市集合。因此，确定28个应急需求城市(表3)。可见，本文把28个省(直辖市)既作为应急物资储备基地设施备选城市，又作为应急需求城市两种角色来研究。

2.4 需求地到备选储备基地的交通距离

考虑到铁路运输的安全保险系数高于其他交通道路，因此应急救援物资的运输主要采用铁路运输。最短的交通距离数据来源于中国铁路12306^[18]。

2.5 空间极限距离

通常在突发特大灾害时，省级和市级应急物资只能短时期内满足需求地应急物资的需要，为调运邻近的国家应急储备救援物资留有一定的缓冲时间。其最长配送时间可以按照需求地可能获得县市和省级供给的应急救援物资的支撑时间，和人类在遭受灾害过程中最需要必不可少的物资

(“水”资源)的最大时间来推断共同确定。合理假定救援物资从国家储备基地点到受灾地灾民手中的最长配送时间按不超过3 d^[3]计算。

可见，国家级应急物资设施点到省级(未设国家级应急储备点)的配送最好能在1 d内完成。依据中国目前货运列车正常运行时速为100 km/h，部分道路最慢为70 km/h，取组中值85 km/h(保守时速)来计算，可以计算得到储备基地覆盖保守半径为1 020 km， D 取保守距离 $D_1 = 1 020$ km，正常距离 $D_2 = 1 200$ km。未来随着货运列车的提速，若时速为110 km/h、120 km/h和130 km/h时，最大距离还可以取1 320 km、1 440 km和1 560 km等。

3 求解模型与结果分析

3.1 算法对比

为了更好地求解模型，我们选择了三种算法：变邻域搜索算法(VNS)、禁忌搜索算法(TS)、免疫算法(IA)。选择在北京市始终设置一个国家级储备基地的限制选址情况，通过随机初始解产出结果进行算法对比。对三种算法VNS、TS、IA只修改算法核心部分，迭代为100，都为随机初始解，算法其他部分如数据调用读取维持不变。对比结果见表4所示。

对比分析三种算法得出：①VNS算法运算速度较慢，但每次模拟仿真出来的结果相差不大，有变临域的特性会增加摆脱局部最优解的可能。②TS算法需要引入禁忌表，虽然可以避免重复生成局部最优解问题但是仿真时间较长，而且其变解能力不强，需要结合不同问题来考虑步长或者是变解方式，导致针对此问题的生成解的速度过慢，但长时间模拟都有可能接近更优的解。③IA算法运行速度快。问题是多次随机初始解实验可

能最终得到的最优解相差会很大,稳定性较差,比较依赖初始解的优劣。另外,因为其有“激励度”等概念,需要结合不同问题设置不同的数量级参数,需要根据问题来进行特别优化,不能很好地应用到系统中,而且为了实现 IA 的评价函数比较合理需要多次调试激励度参数。

三种算法每次生成解的时候都要考虑此次解能否保证所有受灾点都被覆盖,所以运行时间都比较长。从系统应用的角度来看,三种算法计算的相对误差分别为 2.15%、5.52% 和 3.14%,VNS 相对误差最小。另外,VNS 适应性更强,不需要针对不同问题考虑算法评价函数,且运行时间也有保证。故 VNS 算法相对最优。

3.2 求解模型

选用 VNS 算法,采用 python 3.7.4,在 CPU 为 2.3 GHz 4 核计算机上运行。分别计算了设施点数量为 5~10 的情形,表 5 中列出了 P 取各种值($P=5,6,\dots,10$),并设置了最大距离。分以下两种情况求解。①无限制选址,即不受行政体制约束的优化选址,仅仅基于储备点个数 P 和设置最大距离的国家应急物资储备基地的优化。在这种情况下备选储备基地不受主观选择的影响;②限制选址,即受行政体制约束的情况。考虑中国中央政府行政管理体制,在北京市始终设置一个国家级储备基地。

情况一:无限制选址情况得到结果见表 5 所示。

情况二:在北京市始终设置一个国家级储备基地的限制选址情况下,得到结果见表 6 所示。

3.3 结果分析

基于中国铁路运输安全性的保险系数高,并

依据目前中国货运火车时速为 100 km/h,设置最大距离 1 200 km,国家级应急储备基地点数量应为 8 个(表 5 和表 6)。

若从目标函数值最小化的视角看,相比无限制选址($W(8)=15\ 448$)情况,限制选址($W(8)=15\ 956$)的目标函数值增加了 3.29%。因此,无限制选址优于限制选址。

若从国家储备基地覆盖应急需求城市的视角看,在无限制选址情况下,28 个应急需求城市中有 28.57% (8 个)被 1 个储备基地覆盖、有 71.43% (20 个)被 2~5 个储备基地覆盖,平均每个需求城市被 2.39 个国家储备基地响应覆盖和提供应急服务,标准差系数为 0.55;而在限定北京市为国家储备基地之一的限制选址情况下,28 个需求城市中有 14.29% (4 个)被 1 个国家储备基地覆盖、85.71% (24 个)被 2~5 个国家储备基地覆盖,平均每个需求城市被 2.79 个国家储备基地的应急服务覆盖,标准差系数为 0.45。与前一种情况相比,限制情况下的被 2 个以上国储基地覆盖的需求城市增加了 4 个,提高了 14.28%;每个需求城市被国储基地覆盖的个数平均增加了 0.4 个,增长了 16.74%;响应覆盖离散程度减少了 18.18%,覆盖响应更趋均匀了。因此,限制选址情况虽然导致建成的所有国家储备基地到其响应覆盖需求城市的距离总和增加了 3.29%,但是国储应急基地分布的结构效率更高。

因此,我们认为从国家应急储备基地救援覆盖效率的视角看,在国家级应急储备基地设置数量不变的情况下,虽然无限制选址要略优于限制选址,但行政限制选址获得的是应急救援效率更高的近似最优解(表 7)。

表 5 无行政限制的 VNS 算法计算结果

P	设置最大距离/km	精确最优解/km	相对误差/%	$\min W(P)$	用时/s	可行解
5	1 560(130×12)	1 519	2.63	22 715	1 904.19	[8, 9, 23, 26, 28]
6	1 440(120×12)	1 424	1.11	22 011	1 352.81	[8, 9, 19, 20, 24, 25]
7	1 320(110×12)	1 316	0.30	18 586	1 752.93	[7, 12, 13, 21, 22, 24, 28]
8	1 200(100×12)	1 153	3.92	15 448	2 457.13	[1, 4, 5, 7, 12, 20, 24, 27]
9	1 080(90×12)	1 007	6.76	13 469	1 740.54	[3, 8, 17, 19, 21, 22, 24, 25, 27]
10	960(80×12)	960	0.00	11 984	1 868.95	[1, 4, 5, 6, 17, 20, 21, 22, 24, 26]

注:表 5 中可行解中的序列数值为表 3 中的城市编号,下表同;表中设置最大距离为货运火车时速乘以救援时间 12 h。

表 6 有行政限制的 VNS 算法的计算结果

P	设置最大距离/km	精确最优解/km	相对误差/%	$\min W(P)$	用时/s	可行解
5	1 560(130×12)	1 531	1.86	22 810	4 822.04	[1, 8, 18, 24, 28]
6	1 440(120×12)	1 318	8.47	22 455	5 686.71	[1, 8, 12, 19, 24, 26]
7	1 320(110×12)	1 318	0.15	19 970	2 482.17	[1, 11, 13, 19, 20, 21, 24]
8	1 200(100×12)	1 187	1.08	15 956	1 915.74	[1, 4, 5, 7, 12, 18, 20, 26]
9	1 080(90×12)	1 078	0.19	14 287	1 970.45	[1, 7, 9, 13, 15, 18, 20, 23, 27]
10	960(80×12)	949	1.15	11 963	2 009.43	[1, 8, 10, 14, 15, 19, 22, 23, 24, 27]

表 7 应急需求城市被国家储备基地覆盖情况

P	无限制选址,需求城市被覆盖数	P	限制选址,需求城市被覆盖数
5	[3,3,4,3,2,1,1,1,1,1,1,2,1,3,2,2,1,1,2,3,2,1,4,3,3,2]	5	[3,3,4,3,2,2,2,2,2,2,2,1,1,1,3,3,1,1,2,2,3,2,1,3,1,1,2]
6	[3,3,2,1,1,1,1,1,1,2,1,3,2,4,2,2,4,4,2,3,4,2,4,2,1,1,1]	6	[3,3,2,3,2,2,2,2,2,2,2,3,2,2,2,3,3,2,2,4,2,3,1,3,1,1,2]
7	[3,2,3,3,1,1,1,1,2,2,2,3,2,2,1,2,3,3,2,2,4,4,3,3,4,3,3,2]	7	[2,1,1,1,1,1,1,1,1,3,3,3,4,3,4,2,6,5,4,4,4,2,4,3,2,1,1,1]
8	[5,5,4,4,3,2,2,1,1,2,1,3,1,1,3,3,1,2,1,2,3,2,2,2,4,3,1,3]	8	[5,5,4,5,4,2,2,1,2,3,2,4,2,2,3,5,2,3,2,2,3,1,2,1,4,3,1,3]
9	[1,1,3,2,2,2,1,1,1,1,1,3,2,2,1,3,5,3,2,2,5,2,4,2,6,4,3,3]	9	[3,3,2,2,1,3,2,1,3,5,3,5,3,3,3,4,3,4,4,3,3,1,3,2,1,1,1,1]
10	[4,4,4,3,3,2,1,1,1,1,1,1,1,1,2,3,2,3,1,2,4,2,4,3,5,3,1,3]	10	[2,2,2,2,1,2,1,1,3,3,2,3,2,3,3,3,2,4,3,3,2,2,4,2,2,2,1,1]

注:表 7 中中括号内位置序号对应表 3 中的城市编号。

4 系统设计

4.1 总体设计

目前, VNS 算法的功能仍存在不便于使用的情况, 在选址工作中仍然需要结合实际情况调整不同算法参数, 仍存在效率不够高, 计算结果不够直观的问题。通过调查与研究, 我们以 VNS 算法为核心规划建设了国家应急物资储备基地选址系统, 对算法应用赋予了新设想并进行修改完善, 使其能够在选址系统中能够得到更好的应用, 并提高了维护便利性、与算法内聚性, 降低不同功能的耦合程度。

具体将算法设计更新为四大模块: GIS 模块、数据库模块、路径模块和选址算法模块^[19] (图 1)。其中, GIS 模块负责将用户输入的地理位置进行准确定位, 获取经纬度并在需要时转换为坐标信息, 用以匹配其附近的铁路路网; 数据库模块则存储上述位置信息, 保存记录用户、需求、选址信息与选址结果, 供算法的其他模块进行传参与调用; 路径模块则在获取位置信息后, 可以生成铁路路网图, 用于算法判断设施负责情况, 同时进行路径归化, 简化铁路线路信息; 选址算法模块是 VNS 算法核心部分, 可以根据不同需求调整计算参数, VNS 扰动模式等, 从而获得计算结果。另外, 选址算法可以对结果进行可视化输出处理, 并有利于结果比对与呈现。

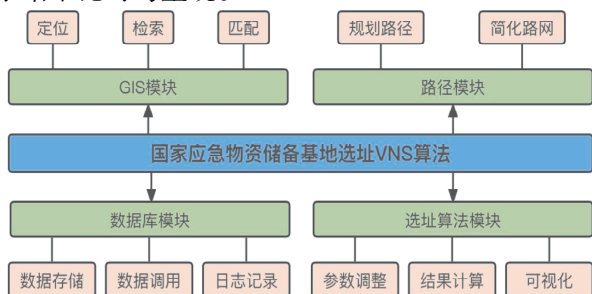


图1 选址算法模块示意图

4.2 功能设计

整个选址功能设计可以完全部署在云端网络服务器中, 选址系统模块核心为国家应急物资储备基地选址 VNS 算法。在逻辑层次上, 选址系统设计分为五个层级, 分别为运行环境层、基础平台层、数据资源层、业务服务层、终端接入层^[20-21]。划分好模块的 VNS 算法主要应用于数据资源层与业务服务层 (图 2)。

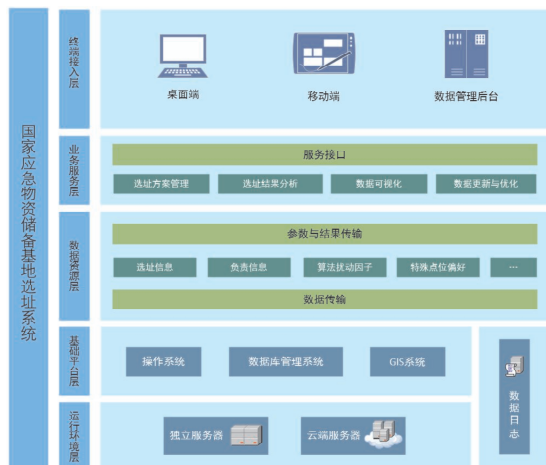


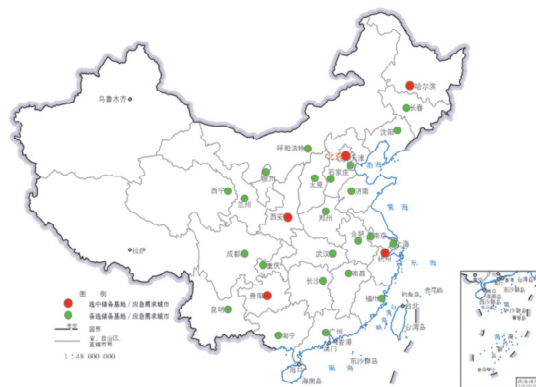
图2 系统总体架构

在运行环境层, 整个系统可以架设在私有化的独立服务器上, 也可以部署在云端服务器中, 通常开发与测试在前者而运行维护在后者。部署完系统后就要搭建相应的基础平台环境, 包括以上问题提到的环境, MySQL 数据库与 ArcGIS 库。在数据资源层, 可以对受灾点信息、路径信息、受灾点被负责信息、储备点负责信息、负责评价指标、算法扰动因子、算法扰动方法、最大负责距离信息等等进行监控与修改。业务服务层为前端范畴, 主要采用 Web 形式呈现, 提供选址方案管理、参数输入和数据可视化等多种功能。最终在终端接入层可以做到多平台访问与后台管理^[22]。

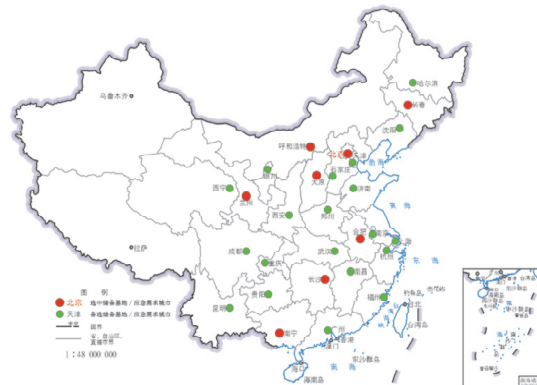
以 GIS 地理信息和铁路网线路作为基础, 开展系统的功能与归化架构设计, 并将 VNS 算法分模块搭建系统, 为相关需求提供了查询设施点地理信息、响应分区负责情况和建设位置的快速途径, 对选址工作提出支持。

4.3 结果演示

通过设计国家应急物资储备基地选址系统, 并应用 VNS 算法, 模拟了建设 5 个和 8 个国家储备设施点行政限制选址的情况 ($P=5/8$), 结果演示如图 3 所示。当国家储备基地个数为 5 ($P=5$) 时的限制选址, 即在北京、哈尔滨、西安、杭州、贵阳建立; 当 P 为 8 时, 则在北京、长春、呼和浩特、太原、兰州、合肥、长沙、南宁建立国家储备基地。



(a) 国家应急物资储备设施点行政限制选址情况($P=5$)



(b) 国家应急物资储备设施点行政限制选址情况($P=8$)

图3 部分限制选址结果演示 ($P=5/8$) (审图号: GS(2019)1823 号)

基于 VNS 算法的选址解决了现有规划选址过程中选址信息量大, 路网信息复杂, 选址过程中影响因子多等难题^[23], 是对现有规划选址方法的一次升级和创新, 但有些方面有待进一步的研究与探索, 部分功能还需要进一步完善。

5 结论

国家应急物资储备设施选址与布局应注重高效实用, 若其数量超过客观需要, 不仅影响省级应急物资储备基地设施的选址与布局, 还会影响到各省内县市物资储备设施点的选址与物资储备数量。而应急物资储备基地的数量合理与否将影响储备地和受灾地两地的社会经济的质量、效益和速度, 储备基地数量过多将影响应急减灾运作管理的质量与效能。

本文将我国 28 个省(直辖市)城市既作为备选国家应急物资储备基地, 又作为应急需求城市两种角色来研究, 并设置了无限制选址和限制选址两种情况来考虑, 提出国家应急物资储备基地设置 8 个为宜的论点。同时构建了以 VNS 算法为核心规划建设了国家应急物资储备基地选址平台, 使其能够得到更好的应用, 并对结果进行可视化输出处理, 有利于结果对比与呈现。

参考文献:

- [1] 钱洪伟, 梅京兰. 中国自然灾害区域应急救援中心布局设计研究[J]. 灾害学, 2020, 35(2): 194-199.
- [2] 赵成帅, 卢春华. 城市消防应急物资储备库选址决策模型[J]. 防灾科技学院学报, 2010, 12(2): 61-65.
- [3] 郝蒙浩, 张静, 赵秋红, 等. 基于 P-center 问题的国家级应急物资储备设施选址优化布局研究[J]. 自然灾害学报, 2019, 28(3): 123-129.
- [4] 李周清, 马祖军. 区域性应急物资储备级库间的协同选址模型研究[J]. 自然灾害学报, 2012, 21(2): 57-62.
- [5] 陈孝国, 肖修鸿, 杨悦, 等. 基于直觉模糊熵权法的应急物资储备库选址评价模型[J]. 价值工程, 2022, 41(15): 27-29.
- [6] 刘晋, 邹瑞, 韩琦, 等. 基于自适应遗传算法的应急物资储备库选址及物资调配优化研究[J]. 安全与环境学报, 2021, 21(1): 295-302.
- [7] 郭子雪, 王兰英, 齐美然, 等. 基于区间数信息的区域应急物资储备库选址多目标决策模型[J]. 灾害学, 2015, 30(2): 148-151.
- [8] 罗振敏, 齐柯, 程方明. 应急物资储备库选址及调运模型研究综述[J]. 科学技术与工程, 2022, 22(19): 8177-8186.
- [9] 陆相林, 宋万杰, 赵丽琴. 市域应急物资储备库选址模型与实证: 以石家庄市为例[J]. 经济地理, 2014, 34(4): 40-45.
- [10] 陆相林, 苗长虹. 小城镇应急物资储备库等级优化配置模型与实证: 以北京市房山区为例[J]. 灾害学, 2016, 31(2): 156-163.
- [11] 胡立和, 王素杰, 宾厚, 等. 基于 AHP 的县、乡、村三级农村配送中心选址研究: 以临沂市为例[J]. 技术与市场, 2022, 29(11): 175-177.
- [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.
- [13] 康青春, 周雪昂. 消防战勤保障物资储备点布局与选址问题研究[J]. 中国安全科学学报, 2011, 21(1): 161-168.
- [14] 牟海波, 董博. 铁路应急物资储备点选址研究[J]. 铁道运输与经济, 2014, 36(9): 72-75.
- [15] 陈黛. 大规模灾害应急资源优化配置研究: 以地震为例[D]. 北京: 北京理工大学, 2017.
- [16] 高红. 突发公共卫生事件下应急物流储备中心选址优化研究[J]. 中国储运, 2022, 263(8): 185-186.
- [17] 吴大明. 美国应急管理“连续性”政策分析与启示[J]. 灾害学, 2021, 36(2): 134-138.
- [18] 中国铁路 12306. 中国铁路客户服务中心[EB/OL]. (2019-05-20) [2022-07-02]. <https://www.12306.cn/index/>.
- [19] 赵江利. 基于改进蚁群算法的低碳物流配送中心优化选址系统设计[J]. 现代电子技术, 2021, 44(13): 96-100.
- [20] 王海斌, 邵飞, 付艳丽, 等. 基于 GIS 的招商项目选址系统设计与实现[J]. 地理空间信息, 2022, 20(8): 78-81, 85.
- [21] 张浩然. 基于多重心法的物流配送中心选址系统的开发与实现[D]. 北京: 首都经济贸易大学, 2021.
- [22] 林钰杰, 吴丽贤. 基于 GIS 的电网规划系统设计[J]. 自动化技术与应用, 2018, 37(8): 142-145, 156.
- [23] 李国栋. 基于 GIS 的抚宁县规划选址综合决策系统研究[D]. 唐山: 华北理工大学, 2017.

Study on Location Model and System Design of National Emergency Material Reserve Base

WU Zhuang, LIU Chenjun, ZHANG Yi, WANG Yating

(School of Management Engineering, Capital University of Economics and Business, Beijing 100070, China)

Abstract: The location and layout of national-level emergency material reserve bases is a key link and fundamental issue in macro emergency management and resource allocation. In this paper, we firstly construct a planning model for the site selection of national macro-level emergency material reserve sites, and select 28 provincial cities (municipalities directly under the central government) in China as alternative cities for emergency material reserve bases and as the primary emergency demand cities in their regions to study both roles; through algorithm comparison, we choose the variable neighborhood search algorithm (VNS) to solve the model, and the results show that national-level emergency material reserve bases is appropriate to set 8 of them. Based on this, a platform was designed to select the sites of national emergency supplies reserve bases. The model solution shows that the administrative restriction site selection is approximately optimal, but the efficiency of the emergency relief structure is higher than that of the unrestricted site selection. The results show that the siting model and the siting platform system are feasible, and the case algorithm shows that the chosen algorithm has some reasonableness.

Keywords: emergency management; emergency reserve base; siting platform; variable neighborhood algorithm