

# 区域残损航空器搬移支援中心建设探索

王飞

中国民航工程咨询有限公司

**摘要：**2022年2月，为了进一步规范运输机场残损航空器搬移工作，提升搬移能力和效率，民航局机场司起草了《运输机场残损航空器搬移管理办法（征求意见稿）》面向行业和社会公开征求意见。《办法（征求意见稿）》中提出，对于在发生突发事件起4小时之内可能获得的搬移设备，可以不自配。据此，建立区域残损航空器搬移支援中心，可以有效节约成本，提高救援效率。本文则基于支援中心建设要求，讨论了支援中心建设模型的相关内容，并以实例的方式验证模型适用性，从而积累支援中心建设经验，提高地区灾害发生后响应的及时性。

**关键词：**残损航空器；支援中心；数学模型

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2022.08.078

## 引言：

现阶段，随着民航运输量不断上涨，突发事件的频次也在增加。民航行业的系统化程度较高，在出现突发事件时如果不能对其进行有效处理，也会进一步扩大事故影响性，影响到民航行业的健康发展。区域残损航空器搬移支援中心的建设，可以提高灾难发生后企业响应的及时性，降低问题带来的负面影响，营造良好的民航行业发展环境。

## 一、区域残损航空器搬移支援中心建设要求

2016年颁布的《民用运输机场突发事件应急救援管理规则》按照年起降架次在10万以下、年10万（含）至15万之间和15万以上分别要求机场配置配置搬移残损航空器的专用拖车、顶升气囊、活动道面、牵引挂具以及必要的枕木、钢板、绳索等器材。《运输机场残损航空器搬移管理办法（征求意见稿）》中提出年起降超过30万（含）架次的机场，应当自配搬移拖车和顶升气囊；每个机场应当至少自配1套起落架挂具；其他需要自配的设备类型根据评估需求确定。对于在发生突发事件起4小时之内可能获得的搬移设备，可以不自配，但应当有明确的救援支援协议。对比两个文件，《办法（征求意见稿）》较《民用运输机场突发事件应急救援管理规则》的规定有所放宽，同时提出对于在发生突发事件起4小时之内可能获得的搬移设备，可以不自配。因此，设立区域残损航空器搬移支援中心，可以减少设备投入，还能增加救援能力。因此对支援中心选址的分析是非常必要的。

## 二、区域残损航空器搬移支援中心建设模型分析

### （一）进行问题描述

在航空器突发事件发生后，需要在最短时间内委派

支援中心，在有限运输条件下，选择最恰当运输方法将残损航空器搬移设备配送到突发事件机场。为了满足此项要求，需要做好建设支援中心选址、运输路径规划等工作，建立NP·Hard模型，模型上层可以解决全局性目标，了解中心布局情况，下层则用于解决最优路径问题，起到解决相关问题的目的。为了得到最优化分析模型，可作出以下应用假设：（1）支援中心数量一定，其规模容量能够满足供应应急服务转运站需求，同时也会根据其辐射范围需求情况进行拟定；（2）假定所建设应急转运之间只有一辆应急车辆进行配送，配送次数不超过3次。（3）单车运载能力不能低于单个需求点的需求量，线路上需求总量不能超过单车量最大的运载量。（4）应急车辆的行驶路线，需辐射所有应急需求点。（5）除不可抗力因素（如地震、山体滑坡、洪水等）影响外，所有车辆配送货物的时间，需要在规定时间完成运输，以达到预设的管理要求。（6）所有应急转运站点与应急需求点的需求情况就、具体地理位置进行明确标记，而且需要储备足够数量的应急车辆，满足不同应急点的发展要求。

### （二）建立数学模型

和普通应急救援点不同，区域残损航空器搬移支援中心需要具备应急物流储备库、整体防护能力、整体应急救援能力等功能，在突发事件发生后可以快速反馈，达到最佳的救灾效果，减少各类资源的浪费问题。在数学模型的建设中也需要考虑交通通达度、机场整体规模、地区经济人口等因素，并以此为基础来建设层次分析模型。根据各层要素相对重要性展开综合评价，基于1-9整数和倒数标度方法来确定标度数值，以此来得到相匹配的判断矩阵，根据判断矩阵最大特征根、特征向量等内容，来完成各个要素权重计算，同时也会计算出不同要素的组合权重，利用一致性检验的方法，来提高分析结果的合理性。具体的计算公式如下：即  $CR = CI/RI$  ( $CI = (\lambda_{max} - n) / (n - 1)$ )，式中  $\lambda_{max}$  表示判断矩阵对应的最大特征数值，RI表示平均随机的一致性指标，n表示判断矩阵中对应阶数，在计算结果  $CR < 0.1$  时，可以认为其整体一致性满足相关要求，从而为中心选址布局提供可靠数据支持，为后续各要素取值调整提供参考，以满足相应的使用要求。

### （三）布局方法选择

#### 1. p-中值模型

在具体的模型分析活动中，p-中值法属于经常使用到的处理方法，该方法的处理作用在于，建立需求点集合和候选点集合，基于此集合背景来从中选择P个

点（数量小于候选点集合总数）指派给对应的需求点，从而得到所需目标函数最低的应用模型。基于层次分析方法可以发挥p-中值法在应用中的使用价值，并且也可以对候选机场具体位置与数量进行整理，了解机场最终数量p，搭建相应的支援中心，使其可以完全覆盖所有区域，并满足距离最小原则。具体所建立的应用模型

如下：① $\min \alpha = \sum_{a \in Q} \sum_{b \in P} d_a r_{ab} y_{ab}$ ；② $\sum_{b \in P} y_{ab} = 1, a \in Q$ ；

③ $\sum_{b \in P} x_b = D$ ；④ $y_{ab} \leq x_b, a_i \in Q, b \in P$ ；⑤ $x_b \in \{0, 1\}$ ，

$b \in CI$ ；⑥ $y_{ab} \in \{0, 1\}, a \in Q, b \in P$ 。式中Q表示研究对象中所包含的q个需求点，集合 $Q = \{1, 2, 3, q\}$ ； $d_a$ 表示集合中第a个需求点所对应的需求内容；P表示研究对象中所包含的p个候选点，集合 $P = \{1, 2, 3, p\}$ ；表示第a个需求点和第b区域支持中心之间距离；D表示整个区域内支持建设的数量（ $D < p$ ）； $x_b$ 在区域支持中心在b点建设时取值为1，反之取值为0； $y_{ab}$ 表示区域支持中心可以覆盖需求点a时取值为1，反之取值为0。

在整个分析公式当中，式①表示该模型对应的目标函数，该函数的相关条件会对公式②形成约束，以此确定了所有需求点需要被一个区域中心所覆盖，同时也可以对公式③的应用形成约束，其对应的支持点个数假定为D个，从而成为公式④进行计算时的约束条件，得到更加科学的计算结果。

## 2. 贪婪取走启发式算法

在对p-中值模型进行求解时，经常会使用贪婪取走启发式算法来对相关参数进行整理，同时需求点也会在算法作用下，将其指派给距离最近的候选点，并以此为基础求解对应的总距离数据，过程中也会将距离最小作为基础原则，将候选点中筛选出需要去除的内容，一直到最后剩余点到达预定数值。在此算法的具体应用中，可以从筛选循环变量，假定 $K=Q$ ，随后将需求点指派给出距离最近的区域支持中心，从而求出对应的总距离数据。如果 $K=D$ 时整个计算过程也会停止，反之则从K个候选点中筛选一个对应的取走点，评论后从中筛选不合格取点，此时令 $K=K-1$ ，继续循环直到 $K=D$ ，以满足相应的使用要求。

## （四）改进的遗传算法整理

在对模型进行求解时也会使用到遗传算法进行求解，具体应用要点如下：

### 1. 编码并计算适应度

在遗传算法的应用中，编码并计算适应度属于非常基础的工作内容。在具体应用中，对于集合中的个体进行0-1实数编码处理，同时假设每个区域内应急转运站、需配送需求点数量记作Q，而运输车辆的数量为c，那么染色体的总体长度为N， $N=Q+c-2$ ，对适应度进行计算时，也需要对染色体进行解码处理，随后所有区域转运站与转运站需求点也会形成一个回路，此时会将数值

大于Q的虚拟节点替换成1，从而形成若干数量的子回路，建立新的应用集合，记作 $A_i, i=1, 2, 3, \dots, i$ 。随后会将不同区域调度成本总和作为求解的评价标准，同时建立适应度函数 $F(x)$ ，带入各类数据后得到适应度数据，数值越小，对应的路径方案也越优。

## 2. 随机机制下的路径选择操作

基于随机机制进行路径的合理化选择，将个体与种群适应度值进行对比，并以此来确定个体被选择概率值，记作 $P_i, i=1, 2, 3, \dots, i$ 。为了防止经典遗传算法应用中，出现局部最优的情况，在实际处理活动中也需要对相关内容进行合理化选择，如果出现 $P_i$ 大于标准值的情况，那么可以堆积选择种族中某个个体（记作 $x_i$ ）替代之前的个体（记作 $y_i$ ）。反之，则可以将第t代第i个体替换前一代中的最优个体集合中的元素，这样也可以减少种群中的重复内容，提高了种群内容的多样性，从而得到最优化的计算结果。

## 3. 数据解码处理

完成上述处理工作后，进入到数据解码处理环节，作用是从适应度值的最优集合中，找出最适应的个体值，随后对这些个体值进行解码和去重处理，具体的操作步骤如下：第一，解码处理，基于染色体中基因数值大小对基因进行升序排序，从而得到相应的解码集合，集合记作 $B_i, i=1, 2, 3, \dots, i$ 。对解码处理后的染色体基因进行虚拟节点优化处理，对于数值大于需求总值的虚拟节点替换成1，从而形成若干数量的子回路，建立新的应用集合，记作 $C_i, i=1, 2, 3, \dots, i$ 。随后也会在染色体的首尾插入数值1，得到多个子回路的染色体，形成新的集合，记作 $D_i, i=1, 2, 3, \dots, i$ 。第二，对于集合中的重复内容进行整理，这样也可以得到配送路径最优化处理方案，记作 $Q_k, k=1, 2, 3, \dots, k$ 。

## 三、实例分析

### （一）层次分析法预选

#### 1. 案例基本情况

以新疆地区为例，目前该地区共有24个投入使用的机场，还有4个正在建设的机场。具体分布如图2所示，包括布尔津喀纳斯机场（A1）、阿勒泰雪都机场（A2）、塔城千川机场（A3）、克拉玛依古海机场（A4）、富蕴可可托海机场（A5）、博乐阿拉山口机场（A6）、石河子花园机场（A7）、乌鲁木齐地窝堡国际机场（A8）、哈密伊州机场（A9）、伊宁机场（A10）、新源那拉提机场（A11）、吐鲁番交河机场（A12）、库车龟兹机场（A13）、库尔勒梨城机场（A14）、阿克苏红旗坡机场（A15）、图木舒克唐王城机场（A16）、喀什国际机场（A17）、莎车叶尔羌机场（A18）、和田机场（A19）、且末玉都机场（A20）、若羌楼兰机场（A21）、昭苏天马机场（A22）、于田万方机场（A23）、阿拉尔塔里木机场（A24）。正在建设的和静巴音布鲁克机场、塔什库尔干红其拉甫机场、奇台江布拉克机场、轮台塔中机场不参与此次分析<sup>[1]</sup>。

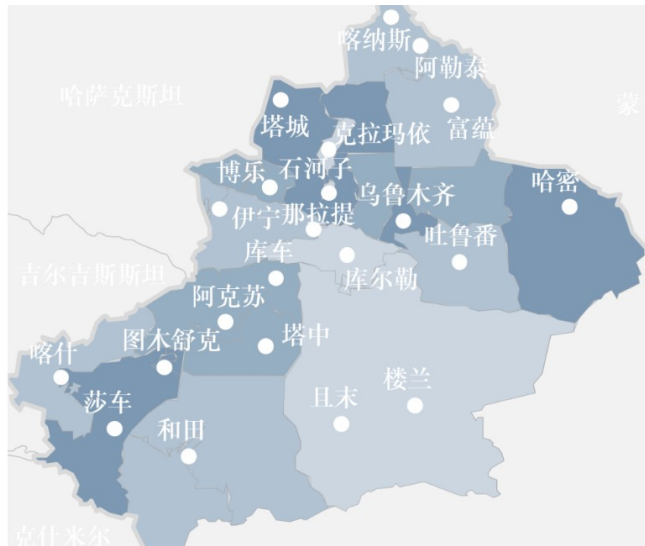


图2 新疆机场分布图

### 2. 层次分析法预选

基于上述内容来建立层次结构模型，随后在建立判断矩阵进行分析，并参考相应原则来确定重要性标度，具体内容如下：①交通通达度数值越小，对应的重要性也越高；②机场规模越大，对应的重要性也越高；③机场所在区域经济数据与人口数量越高，对应的重要性也越高，利用层次分析法对这些内容的权重进行分析，得到相应的标准判断矩阵，经过计算后的最大特征根数值  $\lambda_{max} = 4.0183$ ，并进行一致性检验分析，对应数值  $CI = 0.0035$ ， $CR = 0.00694 < 0.1$ ，表示计算结果满足一致性需求，所分配的权重系数满足要求，得到标准层权重<sup>[2]</sup>。

### 3. 标准层权重计算结果整理

根据相关参数可以得出以下计算结果：（1）交通通达度（记作B1），对应权重为0.7685。二级指标对应权重如下：①公路通达度（记作C1），对应权重为0.6854，综合权重为0.5435；②航空通达度（记作C2），对应权重为0.3265，综合权重为0.2685；③机场容重（记作C3），对应权重为0.5269，综合权重为0.0468。（2）机场规模（记作B2），对应权重为0.1495。二级指标对应权重如下：①年旅客吞吐量（记作C4），对应权重为0.1653，综合权重为0.0236；②年货邮吞吐量（记作C5），对应权重为0.2685，综合权重为0.0395。（3）经济人口（记作B3），对应权重为0.0839，二级指标对应权重如下：①经济数据（记作C6），对应权重为0.3469，综合权重为0.0236；②人口数量（记作C7），对应权重为0.6531，综合权重为0.0542。随后在综合选址的评估中，会将候选点到需求点通达时间作为主要的评估依据，在通达度数值的设计中，会将公路通达度数值设计为200-C1，航空交通通达度数值设计在20-C2，随后再对各项参数进行整理，得到各个候选点对应的评估价值。具体评价结果排序如下：A7>A1>A6>A18>A2>A3>A4>A8>A20>A9>A10>A5>A12>A13>A11>A14>A16>A17>A19>A21

>A24>A22>A15>A23。利用p-中值法选址法从中随机筛选若干数据进行求解，所得求解结果和上述分析结果基本一致<sup>[3]</sup>。

### （二）求解过程分析

#### 1. 求解过程

基于p-中值模型以及相关求解算法，将相应数据代入到其中后展开后续计算，并且将计算结果整理成相应图表，根据所得到分析数据可以得知。各个机场中的备选点除了由自己进行供应活动外，A13会分流物资给予A12，A7会分流物资给予A8，A19会分流物资给予A18，A9会分流物资给予A10，A20会分流物资给予A21，A24会分流物资给予A15，这样也可以将原有数据进行消除，逐步靠近最优化分析数据。利用贪婪取走启发式算法来展开循环计算，根据得到的数据可以得知最终的备选点为A3、A6、A7、A21，随后A1、A2、A6、A10、A13、A15会指派给A3；A4、A5、A8、A14、A16、A17会指派给A7；A9、A11、A12、A19、A20会指派给A7；A18、A22、A23会指派给A21。即塔城千川机场（A3）、博乐阿拉山口机场（A6）、石河子花园机场（A7）、若羌楼兰机场（A21）会作为应急救援区的支持中心<sup>[4]</sup>。

#### 2. 结果分析

随后利用改进后的遗传算法对此内容进行校核，所得计算结果和前期计算结果基本保持一致，随后也使用此计算方法也会去论证了其他地区的建设方法的可行性，在突发某些事件后这些区域可以满足及时运输物资的要求，以得到准确的分析结果。

### 四、结语

综上所述，民航应急救援工作具有突发性、紧迫性和技术要求高等特征，需要建立可靠的选址中心来满足区域建设要求。在本文的研究中，总结了支援中心建设布局需要考虑的相关内容，并利用层次分析方法、p-中值模型、后改进遗传算法来对不同布局因素进行量化分析，以此来积累有价值的经验，提升布局结果的公平性与公正性，对于国内其他地区支持中心建设工作的开展提供良好参考。

### 参考文献

[1] 田野松, 李倩. 《基于高速网络协同工作的虚拟项目团队矩阵管理模式》——《普捷工程项目管理系统》在广东广电集团电网建设中的开发与应用[J]. 中国电力企业管理, 2002, (7): 73-78.  
 [2] 胡晓江. 民航经济管理的信息支撑——关于民航经济运行分析与研究工作的思考[J]. 民航管理, 2007, (4): 91-93.  
 [3] 潘卫军, 刘铠源, 朱新平, 王玄, 王少杰. 民航机场应急救援大数据处理平台架构研究[J]. 计算机与数字工程, 2021, 49(2): 280-283.  
 [4] 王浩, 邵荃, 许晨晨. 民航应急救援区域支持中心选址研究[J]. 河南科学, 2018, 36(7): 1119-1125.