Study on the Takeoff Landing Number of Emergency Rescue Aircraft Demand After Earthquake

Xiuyan Zhang^{1,2}, Hong Chi¹

¹ University of Chinese Academy of Sciences, Institutes of Science and Development, Beijing
100190, China

² Civil Aviation University of China, Economics and Management College, Tianjin 300300, China

震后应急救援航空器需求架次数研究

张秀艳^{1,2}, 池宏¹

¹ 中国科学院大学, 科技战略咨询研究院, 北京 100190 中国

² 中国民航大学, 经济与管理学院, 天津 300300 中国

Abstract

Due to the lack of information after earthquake, the demand for takeoff landing number of emergency rescue aircraft is not clear. The model for takeoff landing number of emergency rescue aircraft demand after earthquake is constructed. Firstly, the total task amount of emergency rescue is determined according to the number of injured persons and the number of victims after the earthquake. Then, according to the damage degree of the ground roads in the earthquake area, the amount of aviation emergency rescue mission is determined. Finally, based on the information of emergency rescue aircraft fleet, the actual takeoff landing number of emergency rescue aircraft is calculated. The rationality of the model is verified by the data of 5 actual earthquake events from 2008, to provide guidance for effective aviation emergency rescue after earthquake.

Keywords: aviation emergency rescue; earthquake; rescue demand; aircraft takeoff landing number

摘要

针对震后信息不足导致应急救援航空器需求架次不明确的问题, 构建了震后应急救援航空器需求架次数模型, 首先根据震后受伤人数和受灾人数确定应急救援总任务量; 然后根据震区地面道路破损程度确定航空应急救援任务量; 最后基于应急救援航空器机队信息确定出实际所需的应急救援航空器架次数。利用 2008 年以来 5 次实际地震案例数据验证了模型的合理性, 为震后进行高效航空应急救援工作提供指导。

关键词: 航空应急救援; 地震; 救援需求; 航空器架次

1. 引言

我国地处环太平洋地震带和欧亚地震带两大世界地震带之间, 受太平洋板块、印度板块和菲律宾海板块的挤压, 震源浅, 发生频率高, 震级大, 分布广。从 2008 年汶川地震、2013 年雅安地震到 2017 年九寨沟地震, 对我国造成了严重的人员生命财产损失。震后应急救援工作是降低地震损失的关键环节, 随着社会进步和经济不断发展, 航空应急救援力量越来越广泛地参与到震后应急救援工作中, 成为了地面应急救援力量

的有机补充。2008 年汶川地震,参与救援各类航空器总计 450 架次;2010 年玉树地震,参与救援各类航空器总计 48 架次;2013 年雅安地震,参与救援各类航空器总计 53 架次。航空应急救援力量,相比于其他传统救援方式,有着机动灵活、快速高效和受地理空间限制小等特点,在震后应急工作中发挥的作用越来越大。

但是,由于地震发生之后我们无法快速准确的获取伤亡人数、房屋和道路破损情况等信息,导致我们不能在第一时间确定受灾点对于航空应急救援力量的具体需求。而需求不清晰,会直接导致所调度的航空应急救援力量与实际救援需求不匹配。在震后救援中,时间就是生命,如果调度的航空应急救援力量低于实际需求,那么会增加救援时间、降低救援效率。如果调度的航空应急救援力量高于实际需求,那么会造成救援资源被浪费、增加救援现场指挥负荷的后果。

目前关于震后应急需求的研究大多以救援物资需求为研究重点,即地震发生后如何根据获取到的地震基本信息计算得出所需的救援物资量[1-5],如聂高众以数十年地震数据为基础总结提炼出 80 余种物资需求与受灾人数的关系[6];郭金芬以地震发生时间、震级等 6 项因素作为 BP 网路的输入数据,根据 16 次地震的实际数据取值对网络进行训练,完成伤亡人数预测[7];Lu 运用 IDF-IKF 方法研究了死亡人数、存活人数和物资需求之间的定量关系[8];Xu 运用时间序列方法预测了震后每天物资需求的变化规律[9]。而关于震后救援力量研究的文献,则通常是在假设需求已知的情况下,研究如何为救援力量分配救援任务和规划救援路线等救援力量的调度过程[10-14]。杜海舰以地震医学救援过程中帐篷医院救治转运伤病员为例,研究伤病员在帐篷医院内的流动过程中救护直升机优化配置问题[15];Liu 根据需求点的不同需求级别研究了分别从中转点派遣直升机运送救济人员和受伤人员的运送方案[16];Zdamar 在已知每个受灾区域每天各类物资需求量的基础上,研究了如何综合使用各种运输方式完成从供给点至需求点的物资派送问题[17];Lu 通过

构建双层多目标规划模型研究了震后直升机调度问题[18]。

鲜有文献涉及到救援力量的需求研究,震后应急救援力量需求量仍以专家经验判断为主,尚没有成熟的方法。因此,需要针对震后航空应急救援任务量的影响因素进行研究,构建震后应急救援航空器需求架次数模型,为后续应急救援航空器调度工作提供准确的需求信息,提高救援效率。

2. 震后航空应急救援任务量影响因素分析

震后航空应急救援任务量 A 的大小一方面取决于震后应急救援总任务量 T 的大小,另一方面取决于救援工作对于航空运输的需求程度,也就是震区地面道路破损程度 r ,具体关系为: $A = r \times T + \delta$,其中 δ 为震后航空应急救援任务量基准值,表示震后即使所有地面道路均未破损,由于时效性要求,也会产生一定的航空应急救援任务需求。

2.1 震后应急救援总任务量 T

由于对地震灾害的防御难度较大、事前准备较为困难,因此事后救援要求就比较高。一旦发生地震,最重要的是救人,必须在有限的资源条件下,尽可能在最短时间将受困人员救出;其次就是为震区人员提供必须物资,使其能够在震区生存下来。一般来说,震后应急救援过程中最重要的两件事就是搜救受困人员和救援物资派送。搜救受困人员主要发生在在地震发生之后的初始救援阶段,搜索震区内的受伤和受困人员,并将其送至附近的医院或应急医疗中心;而救援物资派送是指向震区内的人员提供所需物资,包括生活物资和医疗物资,通常会贯穿整个应急救援工作过程,即:

$$T = T_S + T_P$$

其中, T_S 是指搜救受困人员任务量; T_P 是指救援物资派送任务量。

一般而言,震级越高、烈度越大、震区人口密度越高,受灾人口数就越多,相应的搜救受困人员的任务量 T_S 也就越大;而对于救援物资派送量,即震区所需的生活物资量和医疗物资量,则直接取决于震区受灾人口数和受伤人口数。也就是说,搜救受困人员

任务量 T_S 和救援物资派送任务量 T_P 均由受灾人口数决定，即震后应急救援总任务量 T 可由震区受灾人口数估算得出。

2.2 震区地面道路破损程度 r

航空运输方式最大的优势是速度快，距离越长航空运输所能节约的时间就越多，特点也越显著，并且震后道路的破坏不会影响航线条件，是震后应急救援必不可少的运输方式。也就是说，震后地面道路破损程度越大，震后应急救援工作对航空应急救援力量的需求也就越高，即震后航空应急救援任务量 A ，随着 r 的增大而提高，随着 r 的减小而降低。

由于地面道路是空间网状结构物，在空间上的分布较长，在地震作用下会受到地震烈度、场地等不同因素的影响，造成不同程度的道路损坏，为震后应急救援车辆的运行造成不同程度的影响。在大规模地震灾害发生后，地面道路是灾区的主要逃生通道和救援物资输入通道，在地震灾害的应急救援中

作用十分重大。震后地面道路会受到不同程度的破坏，导致道路通行能力降低，人员逃生和救援物资输入工作均受到影响。

一般而言，震后初期地面道路大面积破损，甚至中断， r 接近于 1；震后救援中期，地面道路逐渐恢复，但也可能再次受到余震的破坏， r 呈螺旋式降低；震后恢复期，地面道路基本完全恢复， r 接近于 0。

3. 震后应急救援航空器需求架次数模型构建

震后应急救援航空器需求架次数是指参与救援的航空器执行震后应急救援任务过程中的总飞行架次数。一般而言，震后应急救援任务量越大，所需总飞行架次数也就越多。这区别于参与救援的航空器架数，当已知所需总飞行架次数后，调派多少架航空器参与救援属于后续的应急救援航空器调度问题。震后应急救援航空器需求架次数计算模型如图 1 所示：

图 1 震后应急救援航空器需求架次数模型图

3.1 震后应急救援总任务量计算

地震发生后，需要立即根据获取的震级、烈度、受伤人数等基本信息实施救援，最大程度降低伤亡损失。假设地震发生后能够立即获取到关于受伤人数 n_w 、受灾人口总数 n_e 和物资需求的基本信息，并且随着震情的发展变化每天可对上述数据进行实时更新，那么根据 2.1，震后应急救援总任务量 T ，包括搜救被困人员任务量 T_S 和救援物资派送任务量 T_P ，可直接根据 n_w 和 n_e 计算得出，具体计算公式如下：

$$T_S = n_w$$

$$T_P = \mu_{生} * n_e + \mu_{医} * n_w$$

其中，搜救被困人员任务量 T_S 是指需要由震区向外运出的人数，直接由受伤人数 n_w 得出；救援物资派送任务量 T_P 是指需要运往震区的救援物资总吨数，具体包括生活物资

和医疗物资， $\mu_{生}$ 是生活物资系数，即平均每人所需生活物资吨数， $\mu_{医}$ 是医疗物资系数，即平均每名伤员所需医疗物资吨数。

3.2 航空应急救援任务量计算

当已知搜救被困人员任务量 T_S 和救援物资派送任务量 T_P 后，确定有多少人员和物资需要由救援航空器运送，通常取决于地面道路破损程度。应急物资的需求具有很强的时效性，需要在第一时间对道路破损程度做出分析判断。道路破损程度越高，地面车辆很难、甚至无法通行，那么为了尽快实施救援就需要首先由救援航空器运送伤员和物资。

地震发生后，通常无法实时准确知道道路破损程度，但是可以初步了解地震波及的空间范围和该范围内的道路受损范围。因此，令 S_e 表示地震波及的空间范围， S_d 表示道路受损范围，那么认为地面道路破损程度 r 可以

等同于受灾范围内的道路破损比例，即：

$$r = S_d / S_e$$

于是，需要由航空应急救援力量完成的搜救受困人员任务量 A_S 和救援物资派送任务量 A_P 可以分别由下式计算得出：

$$A_S = r * T_S$$

$$A_P = r * T_P$$

3.3 应急救援航空器需求架次数计算

应急救援航空器需求架次数计算需要根据上述计算得出的搜救受困人员任务量和救援物资派送任务量计算得出所需的救援航空器架次。假设已知救援机队规模与机型种类，那么可以计算得出救援航空器平均载人数 α 和平均载货吨数 β ，于是救援航空器需求架次数 A 可由下式计算得出：

$$A = A_S / \alpha + A_P / \beta + \delta$$

考虑到部分执行搜救受困人员任务的航空器可以同时执行救援物资派送任务，因此航空应急救援力量实际需求应在下述区间范围内：

$$[\max(A_S / \alpha, A_P / \beta) + \delta, A]$$

4. 实例分析

2008 年汶川地震后，航空应急救援力量参与震后应急救援工作才越来越普遍，因此考虑到数据的可验证性，分别选取 2008 年汶川地震、2013 年雅安地震、2013 年甘肃定西地震、2014 年新疆和田地震和 2017 年九寨沟地震作为实例进行模型验证分析，具体数据如表 1 所示：

表 1 地震案例数据表

地震名称	受伤人数 n_w	受灾人数 n_e	道路破损程度 r	实际救援架次数
2008 年汶川地震	374643	6437000	0.95	450
2013 年雅安地震	11470	383000	0.9	53
2013 年甘肃定西地震	582	440000	0.1	20
2014 年新疆和田地震	0	7838	0.8	2
2017 年九寨沟地震	525	176492	0.9	127

数据来源：中国地震信息网

根据聂高众[6]对震后各类物资需求量与受伤人数和受灾人数的对应关系研究，本文以计算出运送物资总需求量为目的，因此不具体区分物资类型， $\mu_{生}$ 取值为 2kg/人， $\mu_{医}$ 取值为 1kg/人；根据参与五次地震的救援航空器的基本情况，确定平均载人数 α 取值为 10 人/架，平均载货吨数 β 取值为 2 吨/架；航空救援任务需求基准值 δ 取值为 5 架次。据此计算结果如表 2 所示：

表 2 模型计算结果对比表

地震名称	实际值	计算结果
2008 年汶川	450	[6298, 41889]
2013 年雅安	53	[1037, 1387]
2013 年甘肃定西	20	[49, 55]
2014 年新疆和田	2	[11, 11]
2017 年九寨沟	127	[111, 143]

从上述结果可以看出，2008 年汶川地震救援航空器实际救援架次数与计算结果差距较大，这是因为当时航空应急救援力量尚

未普遍参与震后应急救援工作，参与救援的航空器不能满足救援需求。但 2008 年后，随着通用航空业的不断发展，民航航空应急救援力量越来越完善，很多通用航空企业在地震发生之后甚至主动飞到震区参与救援，因此，参与救援的航空器在满足救援需求方面逐渐改善，直到 2017 年九寨沟地震，实际救援架次数已经落在救援架次需求区间内，基本满足救援需求。

5. 结论

本文通过分析震后应急救援主要任务需求和航空应急救援需求影响因素，对震后救援航空器需求架次数进行计算，得出以下结论：

- (1) 震后受伤人数和震区受灾人数是决定震后应急救援任务量的关键因素；
- (2) 震区地面道路破损程度是决定震后航空应急救援力量需求的关键因素；
- (3) 实际参与救援的航空器架次数随

着参与救援的航空器类型不同而不同,因此本文用救援航空器架次需求区间来表示,属于救援航空器任务指派问题,这也是笔者下一步的研究方向,即在明确震后航空应急救援力量需求后,如何进行救援航空器调度优化,以提高救援效率;

(4) 实例分析中,模型的输入数据是每次地震的总受伤人数和受灾人数,因此计算结果为该次地震的航空应急救援力量总需求;下一步,需要以震后每天的受伤人数和受灾人数作为输入数据,计算得出地震发生后每天航空应急救援力量需求的变化情况,实现震后救援航空器的动态调度。

作者简介

张秀艳, 1983.8, 讲师(博士研究生), 安全管理方向, 天津市东丽区津北公路 2898 号中国民航大学, 300300, 13802104873, 13802104873@163.com

基金项目号

国家重点研发计划 2016YFC0802601 航空应急救援装备体系和标准体系研究
国家级大学生创新创业训练计划项目 201710059014 航空应急救援单位运行模式构建研究

参考文献

- [1] 亢丽君, 粒子群优化 BP 神经网络在应急物资需求预测中的应用研究, 2013, 兰州交通大学.
- [2] 李丽丽, 基于灰色建模技术的大规模地震应急救援物资需求预测研究. 2013, 重庆工商大学
- [3] 王正新, 刘思峰, 基于 Fourier-GM(1,1) 模型的灾害应急物资需求量预测. 系统工程, 2013(08): 60-64.
- [4] Shuzhen Li, AlatengTuya, Disaster Risk Research Literature on Statistics Analysis in China Journal Net, Journal of Risk Analysis and Crisis Response, Vol. 5, No. 2 (July 2015), 129-140
- [5] Fusheng Yu, Decision-Making Model in the Environment of Complex Structure Data, Journal of Risk Analysis and Crisis

Response, Vol. 3, No. 2 (August 2013), 103-109

- [6] 聂高众等, 地震应急救援需求的模型化处理——来自地震震例的经验分析. 资源科学, 2001(01): 69-76.
- [7] 郭金芬, 周刚, 大型地震应急物资需求预测方法研究. 价值工程, 2011. 30(22): 27-29.
- [8] Lu, C., K. Ying and H. Chen, Real-time relief distribution in the aftermath of disasters – A rolling horizon approach. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 2016(93): p. 1-20.
- [9] Xu, X., Y. Qi and Z. Hua, Forecasting demand of commodities after natural disasters. Expert Systems with Applications, 2010, 37(6): p. 4313-4317.
- [10] 李梅霞, 车海涛, 应急资源调度模型及算法. 运筹与管理, 2011(03): 72-76.
- [11] 魏国强, 吴亮, 杨永清, 应急资源调度的模糊规划模型. 计算机工程与应用, 2011(33): 222-225.
- [12] 石彪等, 应急物资运输的两阶段车辆调度模型. 系统工程, 2012(07): 105-111.
- [13] Junping Yan, The Spatial Symmetry Axis of Earthquake Hazard in China, Journal of Risk Analysis and Crisis Response, Vol. 3, No. 1 (May 2013), 59-64
- [14] Zhi Zhang, Jianbo You, Qiaoying Li, Xuan Du, Research Framework for Emergency Rescue of Disasters and Crises, Journal of Risk Analysis and Crisis Response, Vol. 2, No. 3 (November 2012), 173-177
- [15] 杜海舰等, 地震医学救援救护直升机的优化配置研究. 直升机技术, 2014(01): 16-21.
- [16] Liu, Y., et al., Robust optimization for relief logistics planning under uncertainties in demand and transportation time. Applied Mathematical Modeling, 2018, (55): 262-280.

- [17] Zdamar, L., E. Ekinci and B.K. Ükyazici,
Emergency Logistics Planning in Natural
Disasters. *Annals of Operations Research*,
2004(129): 217–245.
- [18] Lu, G.B., L. Zdamar and A. Evik, An
interactive approach for hierarchical
analysis of helicopter logistics in disaster
relief operations. *European Journal of
Operational Research*,
2002(140):118–133.