



应急设施的可靠性

选址与评估

张 敏◎著

应急设施的可靠性 选址与评估

张 敏 著

中国财富出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

应急设施的可靠性选址与评估 / 张敏著. —北京: 中国财富出版社, 2018. 1
ISBN 978-7-5047-5090-7

I. ①应… II. ①张… III. ①紧急避难—公共场所—可靠性—选址②紧急
避难—公共场所—可靠性—评估 IV. ①TU984.199

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 019408 号

策划编辑 颜学静
责任印制 石 雷

责任编辑 颜学静
责任校对 孙丽丽

责任发行 敬 东

出版发行 中国财富出版社

社 址 北京市丰台区南四环西路 188 号 5 区 20 楼 邮政编码 100070

电 话 010-52227588 转 2048/2028 (发行部) 010-52227588 转 307 (总编室)
010-68589540 (读者服务部) 010-52227588 转 305 (质检部)

网 址 <http://www.cfpress.com.cn>

经 销 新华书店

印 刷 北京九州迅驰传媒文化有限公司

书 号 ISBN 978-7-5047-5090-7/TU·0052

开 本 710mm×1000mm 1/16

版 次 2018 年 2 月第 1 版

印 张 10.75

印 次 2018 年 2 月第 1 次印刷

字 数 150 千字

定 价 46.00 元

版权所有·侵权必究·印装差错·负责调换

前 言

近年来非常规突发事件频发,如2008年汶川地震、2010年玉树地震、2011年日本海啸、2016年福建“莫兰蒂”台风等。突发事件的频发造成巨大的人员伤亡和财产损失,因此应急管理越来越引起广泛的关注,成为研究热点。应急资源配置与布局、配送与调度的有效性,在很大程度上影响应急处置的效率,应急资源是制约非常规突发事件有效应对的重要影响因素,是应急处置过程中开展一系列活动的基础。应急资源布局是长期战略性问题,特别是应急资源选址一旦完成,短时间内无法改变,需要重点研究。

在大规模突发自然灾害中,应急物流系统常常因灾害损毁而受到重大影响,从而使应急物资保障能力急剧下降。针对应急物流系统中可能设施失效情况下的应急资源选址问题的研究,对提高应急物流网络可靠性具有重要意义。本书将应急资源选址作为网络的一类节点,构建应急物流网络。探讨基于设施失效情景的应急资源的可靠性选址及选址方案评估问题,主要工作成果如下。

第一,基于失效情景的应急设施布局问题。针对非常规突发事件的应急管理具有“情景依赖性”的特点,本书从所构建的应急物流网络的角度,通过对应急资源保障系统中引发应急设施失效的原因进行分析,将应急设施失效情景分为两类:节点失效情景和关键交通路段失效情景,并分别给出具体定义,从而给出考虑应急设施失效情景的应急资源选址可靠性概念。已有的设施失效情景下应急资源选址问题

研究文献一般只考虑节点失效情景，本书考虑了信息部分缺失条件下的节点失效情景和关键交通路段失效情景的应急资源选址以及选址评估问题。

对信息部分缺失条件下的节点失效情景，基于最坏情景运用鲁棒优化的思想，分别建立了信息部分缺失条件下的最小费用随机选址模型、最大覆盖随机选址模型。由于所建模型都是双层规划模型，本书通过对模型解上下界的确定，降低模型的求解难度。算例说明基于最坏节点失效情景的应急资源选址模型可提高系统的可靠性。

第二，为进一步验证应急资源可靠性选址的合理性，对不合理选址进行方案调整，研究了基于设施失效情景的应急资源选址方案评估问题。通过对评估方法的综合分析，结合应急资源选址问题一般涉及投入和产出的多个指标的测度，本书选取处理多输入/多输出问题具有优势的方法——数据包络法，通过应急资源对需求区域的物资保障程度，对应急资源选址的合理性进行评估。通过定义具体描述对需求区域的物资保障程度的全局性、时效性、均衡性、可靠性、经济性等指标，设计了评估目标不同的一般情景评估指标体系、设施失效情景评估指标体系，以及多区域情景评估指标体系，采用能较好反映费效比评估思想的数据法，针对第3章中的应急资源选址结果进行合理性评估，进一步验证基于设施失效情景的应急资源选址的合理性。

第三，中央储备库选址合理性评估。对关键交通路段失效情景下的应急资源选址问题，考虑到我国中央储备库在应急物资中的重要保障作用，针对现有中央储备库在应急资源保障过程中暴露出来的问题，研究了部分关键交通路段失效情景下的新增中央储备库选址合理性评估问题。本书对新增中央储备库不同的选址方案，采用数据包络法，使用上述多区域情景评估指标体系进行选址合理性评估，验证了上述方法的有效性。

第四，对本书工作进行总结，并对未来相关研究进行展望。

本书的编写和出版，中国科学院黄钧教授给予了许多建设性意见。本书的编写参考了大量的文献，在此表示诚挚的感谢。由于作者水平有限，书中难免有不妥之处，恳请广大读者批评指正。

作 者

2017 年 9 月 10 日

目 录

1 绪 论	1
1.1 研究背景	1
1.2 应急资源布局面临的问题	5
1.3 研究目的和意义	8
1.4 主要内容和创新点	10
2 可靠性应急资源选址问题文献综述	14
2.1 传统选址问题	14
2.2 网络可靠性设计	20
2.3 可靠性设施选址问题	22
2.4 应急物流网络可靠性设计	30
3 基于节点失效情景的应急资源的可靠性选址问题	37
3.1 基于最坏节点失效情景的最小费用选址模型	38
3.2 基于最坏节点失效情景的最大覆盖选址模型	45
3.3 算例应用	50
3.4 小结	59

4 基于设施失效情景的应急资源选址 DEA 评估 61

4.1 应急资源选址评估方法选取 63

4.2 采用 DEA 方法评估应急资源选址的指标体系设计 70

4.3 基于设施失效情景的应急资源选址评估算例 75

4.4 小结 80

5 基于关键交通路段失效情景的中央储备库选址评估 82

5.1 问题提出 82

5.2 基于关键交通路段失效情景的中央储备库选址评估 86

5.3 小结 96

6 总结与展望 98

6.1 本书主要研究结论 98

6.2 未来研究工作展望 100

参考文献 102

附录一 国家综合防灾减灾规划（2016—2020 年） 116

附录二 北京市“十三五”时期应急体系发展规划 131

1 绪 论

1.1 研究背景

随着人类认识世界和掌控自然能力的不断提高,人与自然、人与社会组织、人与人之间的竞争和矛盾冲突不断加剧,在认识改造世界的过程中,也给自然造成破坏,使非常规突发事件频发。如 2001 年美国“9·11”恐怖袭击,2003 年“SARS”(传染性非典型肺炎)事件,2004 年印度洋地震海啸,2005 年美国“卡特里娜”飓风,2011 年日本海啸等。非常规突发事件的频发造成了巨大的人员伤亡和严重的经济损失,这使应急管理的研究势在必行。

我国人口众多,地理环境复杂,各种自然灾害如地震、洪灾、泥石流等时有发生,每年因突发事件造成的损失惊人。资料显示:2003 年,我国因生产事故损失 2500 亿元、各种自然灾害损失 1500 亿元、交通事故损失 2000 亿元、卫生和传染病突发事件损失 500 亿元,共计达 6500 亿元,约相当于当年我国 GDP 的 6%。2008 年 5 月 12 日汶川地震,是新中国成立以来破坏性最强、波及范围最广、救灾难度最大的一次地震,截至 2008 年 7 月 31 日 12 时,汶川地震已确认 69207 人遇难,374216 人受伤,18194 人失踪;2010 年 4 月 14 日青海省玉树县地震,震中震后发生余震上千次,其中最大一次为 6.3 级,截至 2010 年 4

月 29 日,地震导致 2220 人遇难,失踪 70 人,伤病 12146 人,其中重伤 1434 人。因此,各种自然灾害已经成为制约国民经济持续稳定发展的主要因素之一,这也使我国应急管理的研究成为必要。

第一个应急管理国际组织——国际应急管理学会(The International Emergency Management Society, TIEMS)于 1993 年在华盛顿成立,至此之后,应急管理的研究逐渐发展起来,近年来随着非常规突发事件在我国频繁发生,应急管理在我国也得到了越来越多的重视。我国的应急管理得到突出的发展开始于 2003 年,“SARS”疫情后,国家认识到建立快速有效的应急反应机制的重要性,提高对突发事件应对工作的重视,国务院提出加快突发事件应急机制建设的要求。2005 年,国家级的应急管理办公室成立;2006 年,国务院发布《国家突发公共事件总体应急预案》;2007 年,国家颁布实施《中华人民共和国突发事件应对法》,党的十七大又进一步指出要完善突发事件应急管理机制。2016 年国家制定的《国家综合防灾减灾规划“十三五”规划》和各省市制定的规划如《北京市“十三五”时期应急体系发展规划》都对我国“十三五”期间的应急体制建设和应急响应能力提出了更高的要求。总之,我国应急管理体系建设的核心内容可简要概括为应急预案,应急管理体制、机制和法制,简称为“一案三制”。自此以后,应急管理在我国得到较好发展,2009 年对肆虐全球的甲型“H1N1”流感的成功应对,验证了我国应急管理发展的成果。

另外,应急管理的理论研究也取得巨大的成绩。国内外各界学者纷纷投入应急管理的研究。我国高校和一些研究机构相继组建应急管理研究机构,如 2011 年 4 月 19 日中国科学院研究生院应急管理研究中心成立,2010 年 5 月 22 日河南理工大学成立应急管理学院,2009 年 4 月 24 日暨南大学成立应急管理学院,对突发事件进行机理分析,对应急预案体系、模拟仿真、应急资源决策分析、灾害预警与检测等许多问题展开研究,出现了大批相关优秀论文。

总而言之，应急管理相关制度和应急管理相关理论研究取得不错的成绩。

但是我国应急管理起步较晚，从非典疫情到禽流感，从开县井喷到北京密云游园踩踏事件，从吉林中百商厦特大火灾到阜阳劣质奶粉，从东航包头空难到辽宁孙家湾特大矿难……这些突发公共事件及处理，暴露出我国应急管理存在的诸多问题。首先，缺少处理重大突发事件的基本法律。虽然此前我国已经颁布了一系列与处理突发事件有关的法律、法规，例如应对骚乱的《戒严法》，应对自然灾害的《防震减灾法》《防洪法》等，应对安全生产事故的《安全生产法》等，应对公共卫生的《传染病防治法》等，但仅仅是针对不同类型的突发事件分别立法，相对分散、不够统一，难免出现法律规范之间的冲突。其次，信息管理系统落后。信息管理系统对突发事件的处理起着非常重要的作用。一是为决策者提供及时和准确的信息；二是为民众传递适当的信息，避免民众情绪失控，促进民众沟通。目前，我国发生灾害及各类突发事件时，都是以部门为单位逐级汇报，缺乏快捷、有效的沟通渠道，可以说，最大的问题在于信息分散和部门垄断，无法在危难时刻统一调集，迅速汇总。最后，我国公共服务体系薄弱，很难应对公共突发事件的冲击。所以我国应急管理还有很长的道路要走，对应急管理的研究依然任重道远。

应急管理是一个涉及多因素、多方面的庞大体系，包括应急准备、应急响应、恢复重建、预防/减灾，其中应急准备是应急管理当中的核心内容，是支撑应急全过程的基础性行动，包括：应急预案、组织结构、应急资源、持续培训、情景演练、评估与改进等。其中，应急资源是应急管理工作的物资基础，是应急准备当中的重要组成部分。广义的应急资源包括防灾、救灾、恢复等环节所需要的各种应急保障。《国家突发公共事件总体应急预案》将应急保障分为人力资源、财力保障、物资保障、交通运输、医疗卫生及通信保障等；狭义的应急资源仅指

灾害管理所需要的各种物资保障。

应急资源在应急管理中不可缺少。当发生非常规突发事件时，应急资源贯穿于应急的整个过程，如人力、财力、物资的储备、运输、调度，应急物资的分类和储备管理，应急设备的购置等。应急资源布局问题是应急管理系统中的一个关键决策问题，主要包括应急资源的选址和配置两个部分，即在给定地点中选取若干地址，并配置合适的应急资源，当发生突发事件后，在初期营救阶段，最大化物资保障程度。它影响到灾害发生时物资调度系统的快速执行与高效实施，对于减轻灾害发生的影响起到非常关键的作用。因此，为了更加高效地应对非常规突发事件，确保人民生命和财产安全，有必要研究应急资源布局问题。

应急资源布局决定着突发事件发生后能否及时提供应急所需的各种资源，是处置突发公共事件成败的关键。2009年2月20日，中国国家自然科学基金委员会（NSFC）发布了两项重大研究计划，其中一项是《非常规突发事件应急管理研究》，非常规突发事件应对的资源保障体系设计和资源协调优化模型就是其中一个重要研究内容。对应急资源布局展开研究，有助于提高应对突发事件的科技水平，有助于提高应急能力，对应急管理的研究具有非常重要的意义。

评估为了决策，而决策需要评估，资源布局本身就是一个评估的过程，资源布局的目标就是评估的目标。应急资源布局的重要性决定了应急资源布局评估问题的重要性。通过评估已有应急资源布局能力，给出布局调整方案，提高应急保障程度。非常规突发事件具有发生异常突然、扩展迅速、高度不确定性、先兆不明显、预测非常困难、用常规方法很难处置、危害严重等特点，所以突发事件具有“情景依赖”性，对非常规突发事件的应急管理，正在发生从“预测—应对”到“情景—应对”的重大演变，所以研究应急资源布局以及布局评估要基于“情景”研究。

1.2 应急资源布局面临的问题

应急管理中的主体是处理突发事件的人员、组织和机构，客体是处置对象，即各类突发事件，应急管理和突发事件紧密联系。

从狭义上讲，突发事件是指在一定区域内突然发生的，规模较大且对社会产生负面影响的，对生命和财产构成严重威胁的事件和灾难。从广义上讲，突发事件是指在组织或者个人原定计划之外或者在其认识范围之外突然发生的，对其利益具有损伤性或潜在危害性的一切事件。根据《中华人民共和国突发事件应对法》的规定，突发事件是指突然发生，造成或者可能造成严重社会危害，需要采取应急处置措施予以应对的自然灾害、事故灾难、公共卫生事件和社会安全事件。

(1) 自然灾害：指那些由于自然原因导致的突发事件。如地震、龙卷风、海啸、洪水、暴风雪、酷热和寒冷、干旱或昆虫侵袭等。

(2) 事故灾难：主要由人为原因造成的紧急事件，包括由人类活动或发展导致的计划之外的事件或事故。如化学品泄漏、核泄漏、设备故障、车祸、城市火灾等。

(3) 公共卫生事件：主要由病菌病毒引起的大面积疾病流行等事件。如非典疫情、霍乱、多人食物中毒等。

(4) 社会安全事件：主要由民众主观意愿产生，会危及社会安全的突发事件。如能源和材料短缺导致的紧急事件，暴乱、游行引起的社会动荡，恐怖活动、战争等一些事件。

各类突发事件按照其性质、严重程度、可控性和影响范围等因素，一般分为四级：Ⅰ级（特别重大）、Ⅱ级（重大）、Ⅲ级（较大）和Ⅳ级（一般）。近年来发生了一系列突发事件，其中很多都是非常规突发事件。通过分析这些非常规突发事件，总结出非常规突发事件的几个

重要特点如下。

(1) 不确定程度高。非常规突发事件如突发自然灾害、社会安全事件等, 不确定性主要表现为发生的时间、地点、规模、性质可能出乎意料之外, 人们无法有效掌握这类重大突发事件的演化规律, 从而难以做出准确的预测。发生的时间、地点往往不确定, 并且表现出低概率、高损失的特点。任何一个非常规突发事件, 都是某个复杂系统中多种危险因素共同作用的结果, 例如, 地震灾害是由大陆板块之间的碰撞、挤压, 长期积累起来的能量急剧释放出来, 以波的形式向外传播出去而引发了大地震。任何地震都不能够准确地进行提前预报并且无法采取措施阻止其发生。不过, 借助已有科学数据, 可以计算出某个地区发生地震的可能性, 这也为我们研究这一类突发事件提供了比较好的基础。

(2) 规模大、损失严重。非常规突发事件的规模都比较大。无论是自然灾害, 还是人为事故, 由于事先不可能采取有效的预防措施, 一旦发生, 波及面必然很广, 影响巨大, 人员及相应的物资不能及时撤退, 即使是采取应急救援措施时, 也会由于调度不合理, 救援效率低等而拖延救援时间, 从而造成巨大的人员伤亡和经济损失。每一次大规模突发事件都是一次惨痛的教训, 都要付出生命的代价。

(3) 次生灾害频繁。非常规突发事件常常形成一系列危害事件链, 采用常规应对方式难以处置。人类生存的社会本身是一个复杂的系统, 各种社会功能相互耦合, 变得越来越相互连接和相互依赖, 一旦其中一部分发生变化, 其他部分便不可避免地受到波及。大规模突发事件后, 都会引发各种次生灾害。例如, 2004 年东南亚地震引起的海啸使几十万人失去生命; “5·12” 汶川地震后, 发生了一系列衍生灾害, 余震几次使修复的公路垮塌, 加剧了灾情, 地震引发山体滑坡并堵塞河道形成 34 处堰塞湖; 2011 年 3 月 11 日, 日本 9.0 级强地震更引发了海啸、核电站泄漏等一系列次生灾害, 造成严重破坏, 危及人类生命安全。

非常规突发事件的这些特点使我们认识到,为了有效应对突发事件,必然要建设完善的应急响应机制。应急资源管理贯穿于整个应急管理的全过程,而应急资源布局作为应急资源管理的第一个环节,处于非常重要的地位。

目前,我国在沈阳、哈尔滨、合肥、成都、天津、武汉、长沙、郑州、南宁、西安、昆明、乌鲁木齐 12 个城市设立了中央级救灾物资储备库,以应对各种自然灾害,并且在一些多灾易灾地区建立了地方救灾物资储备库。已经有 31 个省、自治区、直辖市和新疆建设兵团建立了省级救灾应急物资储备库;251 个地市建立了地级储备库,占有地市的 75.3%;1079 个县建立了县级储备库,占有县市的 37.7%。例如,宁夏回族自治区共有县级以上救灾物资储备库 29 个,其中,自治区级储备库 2 个,市级储备库 5 个,县级储备库 22 个,储备库面积达 7000 多平方米。随着中央和地方各级人民政府不断加大抗灾救灾投入力度,国家的救灾能力不断加强,救灾体系不断得到完善。

但是,在历次突发事件应对过程中,也暴露出一些问题。2008 年年初的低温雨雪冰冻灾害发生时,由于融雪剂、除冰机等不足,造成很大的经济损失;在 2008 年 5 月 12 日汶川地震发生时,应急物资储备不足,412 小时之内中央救灾储备库的帐篷就被全部调空,而整个灾区帐篷缺口还在 80 万顶以上。

因此,我国应急资源布局还存在如下问题。

(1) 应急资源布局系统比较脆弱,布局结构不够合理,标准化程度比较低。一旦发生灾害,现有的资源布局结构不能够保证救援的快速和有效性。

(2) 现有的资源布局一般以人为的主观决策倾向进行判别,选址方式多从宏观方面考虑,在进行大规模非常规突发事件的应急资源布局时,缺乏量化方式,特别是缺乏立足于战略和规划方面的考虑。据了解,在进行实际应急资源储备中心的布局时,首先会根据人口密度、

灾害发生的情况、交通运输条件、周边环境等确定合理的地址，其次根据实际情况确定大体的保障水平，最后再根据投入情况粗略地进行资源的配置。

(3) 应急物流中的应急资源布局面对的不确定性程度非常高，无论是突发事件发生前，还是突发事件发生后，都要面临许多不确定性的信息，如供应方的应急物资供应量，灾区对应急物资的需求量，灾情的破坏程度等。这些信息来自四面八方、各种渠道，其中必然会有重复或者错误情况发生。分析各种突发事件中面临的不确定信息，是在应急资源布局问题中要着重考虑的问题。

(4) 考虑到突发事件具有突发性和低频率特点，很难在短时间内获得相关完整信息。与广义的应急资源布局问题相比，针对突发事件的应急资源布局需要考虑其发生机理，并寻找合适的建模工具，从而为应急管理部门提供有力的决策支持和参考。

1.3 研究目的和意义

目前，我国正处在各类突发事件发生的高峰期，而且在未来很长一段时间内，我国的应急管理都将面临突发事件所带来的严峻考验。从自然角度分析，我国灾害种类多、发生频繁、损失严重。我国有70%以上的大城市，以及半数以上的人口、75%以上的工农业生产值所在地分布在气象、海洋、洪水、地震等灾害严重的沿海及东部地区。从事故灾难角度分析，我国安全生产形势严峻，安全事故频发。从公共卫生事件角度分析，食品卫生、职业卫生等公共卫生形势依然严峻。从社会角度分析，我国目前正处在经济社会发展的关键阶段，既是关键发展期，又是矛盾凸显期。人民内部出现一些值得重视的新问题，如果处置失当，有可能会出现社会危机。此外，国际政治经济格局的

最新变化也使国际间的冲突和危机出现新的特点。

人们期望通过对应急管理相关领域的研究,有效应对突发事件特别是大规模非常规突发事件,降低由于灾害造成的人民生命和财产损失。这为应急管理的研究提出了更高要求。

应急资源研究是应急管理当中一个重要环节,应急资源的配置与布局、配送与调度的有效性,在很大程度上影响应急处置的效率,因此,应急资源是制约非常规突发事件应对有效性的重要影响因素,是进行应急管理各项事务的基础和前提。应急资源布局问题是战略性问题,一旦选址布局确定,短时间内很难改变。所以应急资源布局问题在应急管理当中的重要地位以及其自身特点,决定了应急资源布局问题的研究价值。

传统应急资源选址问题研究已经取得丰硕的成果,但是其并未考虑设施失效。在大规模的突发灾害中,如自然灾害、恐怖袭击,由应急资源作为节点构建的应急物流网络系统会由于损毁而遭受巨大影响。近年来,各种非常规突发事件频发,设施失效的例子数不胜数,例如2001—2002年爆发于美国的炭疽热造成邮政系统设施失效;2003年全球肆虐的SARS疫情造成医院失效;战时由于敌方破坏导致军事配送网络设施失效;以及由于系统拥堵,设施无法满足用户需求,则相对于该用户认为设施失效,如医院的急诊室、加油站、救护车、消防站、巡逻警车、ATM机在用户需要时繁忙,用户离开就近选择满足其需求的其他设施;2005年美国“卡特里娜”飓风,给美国南部的通信网造成了历史上最严重的损失,300万人的电话中断,1000个铁塔被摧毁。因此,不考虑设施失效的选址问题研究不能全面反映实际情况,从而不能完全有效解决费用和需求优化问题。因此,可靠性应急资源选址问题越来越得到广泛的关注。目前关于可靠性选址的研究还不全面,应用也不是很广泛,所以该问题需要进一步研究。

应急资源选址时考虑设施失效,可以提高系统的可靠性,但同时