

考虑交通拥堵与医疗效用的应急 医疗分诊问题研究

作者姓名 徐万勇

指导教师姓名、职称 陈希 副教授

申请学位类别 管理学硕士

学校代码 10701
分 类 号 C931

学 号 1406122369
密 级 公开

西安电子科技大学

硕士学位论文

考虑交通拥堵与医疗效用的应急 医疗分诊问题研究

作者姓名：徐万勇

一级学科：管理科学与工程

二级学科：管理科学与工程

学位类别：管理学硕士

指导教师姓名、职称：陈希 副教授

学 院：经济与管理学院

提交日期：2017 年 5 月

Research on Triage Problem of Emergency Medical with Traffic Congestion and Medical Effect Considered

A thesis submitted to
XIDIAN UNIVERSITY
in partial fulfillment of the requirements
for the degree of Master
in Management Science and Engineering

By
Xu Wanyong
Supervisor: Chen Xi Associate Professor
May 2017

西安电子科技大学 学位论文独创性（或创新性）声明

秉承学校严谨的学风和优良的科学道德，本人声明所呈交的论文是我个人在导师指导下进行的研究工作及取得的研究成果。尽我所知，除了文中特别加以标注和致谢中所罗列的内容以外，论文中不包含其他人已经发表或撰写过的研究成果；也不包含为获得西安电子科技大学或其它教育机构的学位或证书而使用过的材料。与我一同工作的同志对本研究所做的任何贡献均已在论文中作了明确的说明并表示了谢意。

学位论文若有不实之处，本人承担一切法律责任。

本人签名：_____ 日 期：_____

西安电子科技大学 关于论文使用授权的说明

本人完全了解西安电子科技大学有关保留和使用学位论文的规定，即：研究生在校攻读学位期间论文工作的知识产权单位属于西安电子科技大学。学校有权保留送交论文的复印件，允许查阅、借阅论文；学校可以公布论文的全部或部分内容，允许采用影印、缩印或其它复制手段保存论文。同时本人保证，获得学位后结合学位论文研究成果撰写的文章，署名单位为西安电子科技大学。

保密的学位论文在____年解密后适用本授权书。

本人签名：_____ 导师签名：_____

日 期：_____ 日 期：_____

摘要

近年来,自然灾害、事故灾难、恐怖袭击、公共卫生事故等各类突发事件以及其它一些社会问题频繁发生,造成了很坏的社会影响和大量的人员伤亡,事件发生后政府和社会各界给予了较多的关注,其中应急医疗服务更是牵动着全社会的神经,受到了重点关注:应急医疗服务在处置这些突发事件中的伤员救治等方面起着至关重要的作用,同时也成为维护社会稳定和谐的重要方面。如今,由于城市的扩张,城市系统治理的复杂性等使得城市治理面临着严峻的考验,其中交通拥堵也已经成为广为诟病的难点问题,严重影响着人们的出行以及车辆的通行,也给突发事件后应急处置中的救护车辆等的通行造成了较多的影响。鉴于此,本文在考虑城市环境下的应急医疗救援时,考虑到交通拥堵给救护车辆送诊时间的影响,进而可能延误送诊时间。为了提高较好的应急医疗服务体验,在保证高效利用应急医疗资源的同时保障人民群众的生命财产安全,本文对城市环境下的应急医疗中的伤员分诊问题进行了深入分析和研究,研究的内容主要包括:

(1) 对应急医疗分诊问题进行了提炼和分析,整合提出了应急医疗服务中伤员分诊的基本流程和基本理论框架。应急医疗中伤员分诊问题具有相关的现实背景,相关研究的开展具有很好的理论价值和实用价值,因此本文首先对突发事件、应急管理、应急医疗服务等相关概念进行了提炼和界定,并分析了各自的特点以及相互关系,在此基础上提出了应急医疗分诊问题的基本优化目标和基本流程框架。以上工作是城市环境下考虑交通拥堵与医疗效用的应急医疗分诊问题的理论指导和理论基础。

(2) 针对城市交通拥堵问题,在考察交通拥堵特性的基础之上,在现代科学技术手段可采集的交通参数范围内,采用速度作为刻画交通拥堵的主要参数,提出了一种基于马尔可夫改进的指数平滑法来对速度参数进行估计,从而预测应急医疗中救护车辆送诊的行程时间。在该方法中,分别运用指数平滑法和马尔可夫理论来考察速度参数中的稳定性和随机性变化的特性。

(3) 针对医疗效用问题,一方面不同伤情的伤员对应急医疗服务的需求不同,因此采用改进的早期预警评分系统(MEWS)方法来快速实现伤情严重程度的识别,并有效区分不同伤情下的应急医疗服务需求;另一方面,作为医疗服务提供者的医院之间的资源差异性表明其可提供的应急医疗服务能力之间是有差异的,通过筛选确定了评价医疗服务能力评价的指标体系并提供了评价的方法。最后,结合效用理论提出了应急医疗效用评价的方法。

(4) 结合应急医疗伤员分诊问题的优化目标构建了应急医疗网络中伤员综合分诊问题的优化模型,并提供了求解方法。利用该模型可以保证应急医疗服务的及时性

和高效性目标，实现应急医疗网络中不同医院之间伤员的合理分配，实现医疗资源的均衡利用，减少不必要的浪费，有效地保证了伤员的生命安全。

本文的研究方法和研究结果具有较好的针对性，较真实地反映了城市环境下的应急医疗伤员分诊问题中存在的一些问题，运用本文提出的应急医疗综合分诊模型将极大地提高城市环境下的应急医疗服务的效率，实现应急医疗服务的有序、高效运行，保证医疗资源的高效利用。同时，为相关研究的继续开展奠定了一定的理论基础，为突发事件中的应急医疗服务分诊问题提供了一些有益指导和可用方法。

关 键 词： 应急医疗服务， 交通拥堵， 医疗效用， 伤员分诊， 优化模型

ABSTRACT

In recent years, the occurrence of natural disasters, accident disasters, terrorist attacks, public health incidents and other emergencies frequently has resulted in lots of social impact badly, such as a large number of casualties, confusions and contradictions. Those events have led the government and non-profit organization's attention greatly, while almost the total attention paid to emergency medical service for the reason that emergency medical services play a vital role in dealing with these emergencies, especially in the treatment of the wounded, so that it has become an important aspect of maintaining social stability and harmony. Nowadays, urban governance is facing lots of challenge due to the expansion of the city and the complexity of the urban system governance, and traffic congestion has become an issue cannot ignored which affect the travel and traffic seriously as well as the vehicles of ambulance. In view of these, this paper considers emergency medical rescue under urban environment with the impact of traffic congestion on casualties' delivery. In order to provide the best emergency medical service to ensure the efficient of emergency medical resources and the safety of people's life and property, this article researches the emergency medical rescue under urban environment and the mainly content of this study includes:

Firstly, the boundary of triage problems in emergency medical is defined, the basic theoretical framework and process of emergency medical rescue is proposed. The triage of the wounded in emergency medical rescue is a realistic problem with practical values and theoretical values. In this paper, the concept and basic characteristics of emergencies, emergency management, emergency medical service is elaborated and an optimized process framework is put forward on the foundation of the respective characteristics and the relationships. This part is the theoretical guidance and theoretical basis of emergency medical triage problem in urban environment.

Secondly, aiming at the problem of urban traffic congestion and considering the accessible of traffic parameters, speed is used as the main parameter for describe the traffic jam. An exponential smoothing method improved by markov chain is given to predict the speed under different consideration of traffic congestion so that to conduct the delivery time of the injuries. In this method, exponential smoothing and markov theory are used to describe

the trends and randomness variation characteristics in velocity parameters.

Thirdly, the medical utility in emergency rescue is associated with the medical demand and the capacity of emergency medical service. Therefore, the modified early warning scoring system is used to distinguish the degree of injuries and an index system is chose to measure and evaluate the capacity of different medical service. Then, a calculate method for emergency medical utility is concluded based on utility theory.

Finally, the optimal model of emergency medical triage problem in emergency medical rescue network is constructed and the method to solve this problem is provided. The model can be used to realize the reasonable distribution of the wounded among different hospitals in the medical network, and ensure the application of medical resources efficiently without unnecessary waste and provide high quality medical treatment timely as well.

The research and results of this paper can solve the triage problem in emergency medical rescue under urban environment, and can prove the efficiency of emergency medical service greatly. The suitable application of this method can result in efficient and ordered emergency medical rescue system which do favor to all the injuries and their families.

Keywords: Emergency medical service, Traffic congestion, Medical effect, Triage of wounded, Optimization model

插图索引

图 1.1	本文思路导图.....	8
图 2.1	CNKI 应急医疗的学术趋势分析.....	13
图 2.2	CNKI 对交通拥堵的学术趋势分析.....	14
图 3.1	应急医疗救援中伤员分诊流程.....	28
图 4.1	一种综合交通控制系统示例	33
图 4.2	路径示意图.....	34
图 4.3	事件发生地点与六家医院间的路网结构图.....	40
图 4.4	各路段不同方法速度预测值与实际观测值的比较.....	42
图 5.1	恶化指数函数	48
图 6.1	应急医疗伤员分诊示意图.....	58

表格索引

表 2.1	相关文献综合检索情况.....	11
表 4.1	交通拥堵状况造成出行时间增长的状况.....	32
表 4.2	路段历史速度观测值.....	40
表 4.3	指数平滑法速度预测值.....	41
表 4.4	各路段在下一时间段内的速度预测值.....	42
表 4.5	路段平均行程时间预测值（单位：分钟）.....	43
表 4.6	最短行程时间以及路线.....	43
表 5.1	MEWS 评分量表与标准	46
表 5.2	伤员不同伤情下的应急医疗服务需求.....	49
表 5.3	医院应急医疗服务能力评估指标体系与评估方法.....	52
表 5.4	指标评分准则.....	53
表 6.1	伤员 MEWS 评分值.....	61
表 6.2	各医院收治伤员能力估计.....	61
表 6.3	三位专家对 6 家医院的应急医疗服务能力评价信息.....	62
表 6.4	事发地点至各医院最短送诊时间估计值.....	62
表 6.5	各医院的应急医疗服务能力评价值.....	63
表 6.6	各医院对不同伤情的伤员的医疗效用评价值.....	63
表 6.7	各医院收治各类伤情伤员的数量.....	63
表 6.8	应急医疗中综合分诊方案.....	64

符号对照表

符号	符号名称
T	路径的行程时间
\hat{v}_{t+1}	平均空间速度的预测值
P	一步转移概率矩阵
S_{MEWS}	MEWS 量表得到的伤势评估值
Q	伤员对应急医疗服务的需求
I	应急医疗服务能力评价指标体系
W	指标权重向量
E	专家集合
W'	专家权重向量
R	专家评价信息矩阵
r_{ij}	专家评价信息值
V	医院应急医疗服务能力评价指数
U	医疗效用评价值
C	伤情分类集合
N	不同伤情对应的伤员数量
H	应急医疗服务系统中的医院集合
q	医院收治伤员的数量限制

缩略语对照表

缩略语	英文全称	中文对照
EMS	Emergency Medical Service	应急医疗服务
EMSS	Emergency Medical Service System	应急医疗服务系统
ES	Exponential Smoothing	指数平滑法
EWS	Early Warning Score	早期预警评分
MEWS	Modified Early Warning Score	改进的早期预警评分

目录

摘要	I
ABSTRACT	III
插图索引	V
表格索引	VII
符号对照表	IX
缩略语对照表	XI
第一章 绪论	1
1.1 研究背景	1
1.1.1 现实背景	1
1.1.2 应急医疗服务中伤员分诊问题研究的必要性	2
1.1.3 应急医疗服务中伤员分诊问题方法创新的必要性	3
1.2 问题的提出	4
1.2.1 应急医疗中伤员分诊问题的界定以及研究问题的提炼	4
1.2.2 应急医疗中伤员分诊问题研究框架	4
1.3 研究目标、研究内容与研究意义	5
1.3.1 研究目标	5
1.3.2 研究内容	5
1.3.3 研究意义	6
1.4 研究方法与研究思路	6
1.4.1 研究方法	6
1.4.2 研究思路	7
1.5 论文结构	8
第二章 相关文献综述	11
2.1 文献检索情况	11
2.1.1 相关文献情况分析	11
2.1.2 学术趋势分析	12
2.2 关于应急服务研究成果综述	14
2.2.1 应急管理研究	14
2.2.2 关于应急医疗管理研究	16
2.3 关于交通拥堵研究成果综述	18
2.4 已有研究成果的贡献与不足	19

2.4.1	已有研究成果的主要贡献.....	19
2.4.2	已有研究成果的不足之处.....	20
2.5	本章小结	20
第三章	相关理论基础及研究框架	23
3.1	应急管理概述	23
3.1.1	应急管理的定义.....	23
3.1.2	应急管理的主要特点.....	23
3.2	应急医疗服务概述	24
3.2.1	应急医疗服务的定义.....	24
3.2.2	应急医疗服务的主要特征.....	25
3.3	考虑交通拥堵与治疗效用的应急医疗分诊问题研究框架	25
3.3.1	伤员分诊是应急医疗服务问题研究的关键.....	25
3.3.2	应急救援中伤员分诊的基本目标.....	26
3.3.3	应急医疗救援中伤员分诊问题的基本研究框架.....	27
3.4	本章小结	29
第四章	考虑交通拥堵的送诊时间预测方法	31
4.1	城市道路交通拥堵状况概述	31
4.1.1	城市交通拥堵特性分析.....	31
4.1.2	交通拥堵与交通参数.....	32
4.2	基于速度的路段行程时间预测方法	34
4.2.1	路段行程时间与速度的关系.....	34
4.2.2	预测方法和原理.....	35
4.3	算例分析	39
4.4	本章小结	43
第五章	应急医疗中医疗效用评价方法	45
5.1	应急医疗中伤员病情危重程度与医疗需求分析	45
5.1.1	伤员病情危重程度识别.....	45
5.1.2	伤员伤势恶化分析.....	47
5.1.3	应急医疗服务需求分析.....	48
5.2	医院应急医疗服务能力评价方法	49
5.2.1	决策问题描述.....	49
5.2.2	医院应急医疗服务能力评价指标体系.....	50
5.2.3	医院应急医疗服务能力评价方法.....	52
5.3	应急医疗中医疗效用评价方法	53

5.4	本章小结	54
第六章	应急医疗中伤员综合分诊模型	57
6.1	决策问题描述	57
6.2	医院应急医疗收治能力分析	57
6.3	考虑交通拥堵和医疗效用的应急医疗综合分诊模型	59
6.4	算例分析	60
第七章	结论与展望	65
7.1	主要研究成果与结论	65
7.2	本文的主要贡献	66
7.3	本文的研究局限	67
7.4	进一步需要开展的工作	67
参考文献		69
致谢		75
作者简介		77

第一章 绪论

1.1 研究背景

1.1.1 现实背景

突发事件是指突然发生的，可能造成或者已经造成了社会公众的重大人员伤亡、财产损失或者是严重的生态环境破坏等具有严重的社会危害的，危及公共安全的紧急事件^[1]。这种定义不仅说明了具有严重社会危害的自然灾害、恐怖袭击、事故灾难、核污染和泄漏等事件属于突发事件的范畴，而且重特大性的传染性疫情、食物中毒事件以及其他一些群体性疾病和其他的危害公众安全的事件亦都在突发事件的范围内。近年来，世界范围内的自然环境问题以及社会问题和矛盾的集中爆发，引起了世界范围内的各类突发事件的频繁发生，且有增多的趋势，造成了众多的人员和财产等的损失。

2010年3月29日，当地时间上午7点50分左右，莫斯科地铁“卢比扬卡”站、“文化公园”站、“和平大街”站发生了一起连环爆炸案，该事件是由一名车臣分裂分子策划实施的，此前在达吉斯坦共和国基兹利亚尔市发生的一起列车爆炸案也是其组织策划的。此次事件造成了40多人死亡，接近100多人受到严重伤害。

2013年4月15日，当地时间下午2点50分，在美国波士顿举办的国际马拉松比赛现场发生了多起连环炸弹袭击事件，爆炸造成的伤亡人数达到176人，其中3人遇难，17人伤势危重。随后在市肯尼迪总统图书馆暨博物馆也发生了一起类似的爆炸事件。此次暴力袭击事件是继2011年911事件后美国发生的又一起严重暴力事件，造成的严重的社会恐慌和危害。

2014年3月1日，中国时间晚间21时许，阿不都热依木·库尔班领导下的多人暴力恐怖组织，在云南省昆明火车站，对无辜群众发动了突然袭击，此次事件共造成了31名群众死亡，141余人受到不同程度的伤害，其中有40余人重伤。此次事件的发生，造成了很坏的社会影响和一定程度上的社会群众的恐慌情绪，也使得我国更加注重社会安保的开展。

此外，近年来，自然灾害、事故灾难、各种传染性疾病，如SARS、H7N9等以及各种食物中毒等危害公共卫生安全的事件频繁发生，不仅造成了难以估量的经济损失，而且更为严重的是对人民群众的生命安全的巨大威胁，同时也是造成了社会上的恐慌和动荡不安。因此，政府和社会组织必须提前做好相关的应急预案和应急处置。欧美等西方国家由于很早就开展相关研究已经形成了一整套组织结构严密、指挥效率高和资源充分共享的完善的应急处置机制方式^[2]，而在我国也在得到了越来越多的重

视,通过学习国际经验以及我国的相关救援实践,我国的突发事件应急处置体系机制也在逐步完善之中^[3]。

突发事件频发的情势引起了国内外许多学者的高度重视和广泛关注,随着我国人口规模的扩大,特别是大中型城市人口的快速扩张,环境污染、城市无序化扩张等一些不可持续性发展中的问题日益凸显,这些状况都在威胁着我们的生存。因此,突发事件管理以及应急处置在社会事务管理中发挥着重要的作用,也得到了相关学者和研究机构的重视,相关问题的研究已经成为国际国内众多学者和科研工作者的研究热点问题。截至2017年4月,相关研究已经在《European Journal of Operation Research》,《Decision Analysis》,《Risk Analysis》等国际期刊以及《中国管理科学》、《系统理论与实践》、《控制和决策》等国内期刊上发表了众多的科研论文和成果报告,已经在逐步开辟了一个全新的学科,为突发事件应急处置的实践活动提供了丰富的理论和方法支撑。

1.1.2 应急医疗服务中伤员分诊问题研究的必要性

突发事件是在社会公共组织和群体以及个体无预警和无意识情况下突然爆发的危机情况,具有突发性和延续性、群体性和系统性以及危害性和不可防御性的特点,同时其发展进程也无法预知而且不随人的意志而改变,因此往往造成大量的人员伤亡和财产损失以及巨大的环境破坏,有时甚至造成巨大的社会混乱和动荡,对社会的正常运行产生很大的威胁和破坏作用。

在突发事件应急处置中,应急医疗服务是关系到伤员救援的最为紧急也是最为重要的一个环节,在伤员救援、灾后转移、卫生防疫、灾后恢复的过程中发挥着不可替代的作用。同时,在所有的突发事件应急处置中,需要医疗机构以及社会力量参与到伤员的救治行动中来,高效地为人民群众的生命安全提供保障也是社会各界关注的焦点问题。当前,我国正是十三五发展的重要时期,提升处置应急事件的能力是增强综合国力,维护社会稳定的重要方面,也是社会各界必须努力的方向。因此应急医疗服务的目的在于尽力挽救伤病人员的生命,并减轻他们的痛苦,因此需要政府和社会各界的密切配合、协调合作共同开展应急医疗服务。

在应急医疗服务中,要挽救伤病人员的生命必须将他们迅速从事发地点撤离至医院、救治中心等可以提供医疗救护的场所进行救治,由于该过程涉及的对象众多、投入的资源繁杂,使得应急救援中的伤员分诊问题面临着诸多的挑战:一方面,由于重特大突发公共事件来势凶猛、时间和地点的不确定性以及对社会的影响层面和深度广度都特别巨大,同时其动态发展的态势无法确知,容易使得我们在营救伤员的时候出现混乱无序、遗漏伤员、无效救援等等管理和实践问题,从而造成社会絮乱、人心不稳等等;另一方面,随着社会文明程度的提高,人们对医疗资源的需求也越来越高,

人们就医越来越关注于三级或者特大型和综合型医院，一般类型的二级医院、诊所无法满足人们的就医需求，由于三级医院救助能力的限制等因素也是应急救援中伤员救援的一大挑战。因此，在应对突发事件时如何对所有的伤员进行统筹安排，合理调配，路径优化，资源协作，信息共享，有效地完成救援任务，向每一位伤员提供优质、有效的医疗救治，是应急医疗中需要考虑的问题，同时也是包括我国人民在内的全世界各国都必须关注的一项重要的公共卫生工作。

鉴于以上分析，应急医疗中的伤员分诊问题是应急医疗处置的关键性问题，在很大程度上关系着挽救伤员的行动和应急处置行动的成败，因此有必要对应急医疗中的分诊问题进行深入分析和研究，在完成救援目标的同时保证医疗资源的公平性和社会的公平。

1.1.3 应急医疗服务中伤员分诊问题方法创新的必要性

在应急医疗服务中，响应时间与救护效果是必须关注的重点问题。一方面，缩短响应时间往往对挽救重伤患者和减轻他们的痛苦有着重要的作用，而且及时的救治直接决定着挽救伤员生命的救援活动的成败与否，另一方面，有效救治是伤员救援的必要前提，伤员所获取的救援资源能否满足伤员的病情需要，避免出现二次转诊也极大地关系着伤员的生命安全。因此，响应时间和救援效率是应急医疗服务中伤员救治的两大关键问题。

目前，有关应急医疗中伤员救治与指派问题相关的理论研究和方法实践已经很广泛。我国突发事件应急救援行动的研究起步虽然相对上较晚，但是在近几年以来的实践与研究中已经积累了很多有益的经验和方法，同时国内外学者的广泛研究也为这一领域注入了新鲜的活力。同时，当前随着我国社会的快速发展，城市规模的扩大，发生在城市环境下的突发事件救援面临着更加严峻的挑战和更加复杂的形式：首先，城市规模的扩大使得城市的交通环境日益复杂，交通拥堵的状况经常发生特别是早晚高峰时期，道路的通行能力大打折扣，甚至出现完全无法通行的情况，这种情况对应急医疗中的送诊时间等也会带来很大的影响；其次，人们的就医需求已经呈现无序化的情势，可以看到无论大病小病，很多病人都是涌向三级或是特大型医院，造成各医院之间就诊患者的极度不均衡分布，使得一些医院处于满负荷甚至是超负荷运行，而另一些医院医疗资源又极度浪费，这样的就医观念也是当前应急救援中必须考虑的因素。

传统的医疗救援中未充分考虑当下的交通拥堵的现实环境和人们医疗观念的转变的特点，而且伤员的伤情特点、资源需求状况等等情况都发生了很多的改变。因此，现有的应急医疗伤员指派方案很难解决当下面临的问题，因此，有必要在响应时间中考虑到城市交通拥堵的具体特点，在治疗效用必须对伤员的伤情进行区分进而合理地选用医疗资源，唯有这样，才是合理地解决当下问题的有效途径，进而对于解决应

急救援行动发挥有效作用。因而，应急医疗服务中伤员分诊理论方法的创新是有效应对当前突发事件的重要基础，也是应急医疗服务研究的重要方面。

1.2 问题的提出

1.2.1 应急医疗中伤员分诊问题的界定以及研究问题的提炼

现实生活中，突发事件中存在着大量的应急处置问题，特别是应急医疗服务中的伤员分诊问题由于面对的情况复杂、牵涉的对象众多，这是一项复杂的系统工程问题，需要全面综合的考虑和布局。对于像 2014 年 12 月 31 日发生在我国上海外滩的踩踏事故以及 2015 年 11 月 13 日发生在巴黎市的恐怖袭击活动以及其他一些公共卫生事件、事故灾难、自然灾害等，这些突发事件造成的损害特别是造成的人员伤亡是对社会和个人影响最为严重的。因此，决策者必须决定投入的医疗资源的数量、分配和派遣方式、组织运行和管理方式，决策者还需要对伤员的不同情况做出评判，对选取医疗服务点、服务顺序、送诊路线等众多的问题进行分析并快速地做出决策，采取行动。对于这些众多分散的问题，有必要进行合理的分类梳理、提炼概括形成整体的框架和问题体系，然后对不同的问题进行分析研究才能最终实现应急处置的高效可行。

对突发事件的众多问题进行分析和提炼，有益于明确定位研究问题，合理组织研究方式和开展研究思路，从而系统性对完成研究工作。同时，可以在研究过程中发现一些相关的有待研究和有待深入研究的潜在问题，从而开展相关问题的分析和解决，不断完善应急处置学科和体系。本文正是以现实环境中普遍存在着的应急救援中的伤员撤离至医院的分诊过程为背景，考察城市环境下交通拥堵对分诊问题的影响，主要考察应急医疗救援中响应时间和救助效果两个目标，进而提出城市环境下的分诊指派方案，提供一种伤员分诊问题的解决思路，为后续研究的继续开展提供一些帮助和指导。

1.2.2 应急医疗中伤员分诊问题研究框架

在解决应急医疗服务中伤员分诊问题时，首先需要对该类问题的一般框架以及指派问题的基本模型和方法，通过对相关理论的深入分析和研究，为本文后续的研究奠定好基础。本文针对应急医疗服务中伤员分诊问题的研究方向主要从以下几个方面开展：一是对应急医疗服务中的伤员分诊问题进行明确的界定；二是分析应急救援中伤员分诊问题特别是在城市环境下这类问题的基本特征；三是对应急救援中伤员分诊问题给出一般性和形式化的描述和表达；四是确定应急救援服务中伤员分诊问题的决策要点；五是构建应急救援服务中伤员分诊问题特别是城市环境下的流程框架。正是基于以上几个方面的问题来构建本文中应急救援服务中伤员分诊问题的研究框架和理

论基础。

1.3 研究目标、研究内容与研究意义

1.3.1 研究目标

至今，在应急医疗服务和分诊问题方面有一些较为成熟的研究成果，但是针对城市环境下的大规模突发事件中的伤员分诊问题方面的研究却不多见。基于此，通过对突发事件以及城市交通环境的特点分析基础之上，从应急救援的基本目标出发，构建了本文的研究目标：

（1）理论层面：在对以往文献综合分析和研究的基础之上，对应急医疗救援的相关理论基础进行梳理，对应急管理、应急医疗服务的特点等进行分析，在此基础上给出应急医疗服务中的伤员分诊问题的基本流程和框架，进一步地丰富和补充应急医疗体系的理论、方法和学科体系；

（2）方法层面：一是结合城市交通环境的特点，对交通拥堵的定义和特点做出说明，选取合适的交通参数来刻画城市的交通拥堵状况，并据此对城市道路交通条件下的救护车辆的行程时间做出合理的估计，用以分析城市环境下的送诊时间；二是对应急医疗中的伤员伤情情况做出合理的判断，据此对不同伤情情况下的医疗需求做出分析；同时，选用合适的方法对医院的应急医疗服务能力进行评价，综合伤情和医院应急医疗服务能力对相应情况下的医疗效用给出评价方法；

（3）应用层面：结合具体的案例背景，应用本文提出的应急医疗分诊方案，以城市环境中的暴恐事件为背景，验证了本文提出的应急医疗中的伤员分诊模型的可行性和有效性。同时，为相关应急医疗服务实践提供有益帮助和指导。

1.3.2 研究内容

针对应急救援中伤员指派问题，本文拟从以下几个具体的方面开展研究工作：

（1）在概述应急医疗服务的研究背景的基础之上，对已有研究成果进行充分的分析，总结和归纳，发现其中的不足之处，从而提炼本文研究问题的必要性以及主要的研究目标和研究内容，并给出具体的研究实施方法；

（2）充分分析应急医疗服务的基本特点，同时提出在城市环境下的应急救援的不同特征和明确的目标，对城市环境下的交通拥堵状况特性进行深入分析，并构建城市环境下应急救援中伤员分诊模型的基本理论和方法体系；

（3）针对城市环境下交通拥堵状况的具体特性，选用交通速度参数作为道路行程时间计算的切入点，对应急医疗的响应时间进行预测分析，并作为伤员的指派时响应高效性的标准，并据此选择最优的送诊路线；

(4) 考虑资源利用的效率问题, 分别对伤员的伤情情况和医院的应急医疗服务能力进行评价, 并提出应急医疗中医疗效用的评估方法, 从而有效地指导相关救援工作中资源的匹配利用和处置;

(5) 考虑医院床位、手术室等医疗资源的限度以及应急救援的基本特点和目标, 构建实际有效的伤员综合分诊模型, 并给出求解该方法的方法, 并通过一些具体的实例来验证所提出方法的可行性和有效性。

1.3.3 研究意义

本文对城市环境下的应急救援中伤员指派问题进行了充分研究, 其研究意义主要包括以下两个方面:

(1) 理论意义: ①本文通过综合考虑到城市环境下交通拥堵对救护车辆行程时间的影响, 运用基于马尔可夫改进的二次指数平滑法对救护车辆的行程时间进行了分析和预测, 较好地考虑了城市交通拥堵对应急医疗救援的影响, 完善了应急医疗救援的理论和方法体系; ②本文在考察医疗机构的治疗效用时, 从伤员和医院两方面进行考虑, 既考虑到伤员病情严重程度的差异, 同时也考虑到了医院的应急医疗服务能力的不同, 将效用理论应用于应急医疗救治, 扩充了效用理论的应用范围, 同时为医疗资源的高效利用提供了有益帮助和指导; ③本文提出了应急医疗救助过程的一般框架, 对于综合考虑医疗救援网络资源, 指导突发事件应急救援中的伤员指派, 提高救援资源利用效率等具有较好的指导作用。

(2) 现实意义: 本文提出的理论和方法可以适用于城市环境下的大规模突发事件中的伤员救助场景, 决策者可以综合考虑医疗网络中可用的救援资源, 实现伤员与医疗资源的匹配, 提高救援效率, 避免出现无序紊乱、资源滥用等等问题, 可以有效保证人民生命安全, 减少人力物力损失, 同时为转变人们就医理念提供一些指导作用, 促使医疗资源的合理利用和在不同医疗机构之间的均衡配置。

1.4 研究方法与研究思路

1.4.1 研究方法

(1) 归纳、总结法。通过参考分析相关文献, 对网络资源以及其他资源的分析之后, 对应急管理以及应急医疗服务领域的基本概念、定义、特征等以及交通拥堵状况的特点等进行了阐述, 从而为解决城市环境下的应急医疗分诊问题提供了切入点。

(2) 文献综述法。广泛查阅现有图书、数据库、学术期刊、学位论文、学术会议等文献资料, 并通过因特网等渠道对电子信息进行检索, 然后分类分析汇总已有的相关文献, 以准确地了解应急医疗分诊问题的全貌与局部的关系, 从中找到一些可以

参考和借用的理论和方法。

(3) 数学建模法。综合运用系统学、运筹学以及语言信息处理等方法对交通拥堵状况的识别、伤员伤情的鉴定、治疗效用的区分等进行评价，从而构建选择最好的伤员与医院之间指派方案的数学模型并求解。

(4) 实例分析法：本文中以一个发生在城市中心区域的暴力恐怖袭击事件后的应急医疗救援行动为例，运用本文所给出的方法以高效响应和高效的救援效率为目标，验证了本文提出的模型的可用性和合理性。

1.4.2 研究思路

本文的研究技术路线为：首先对应急医疗伤员分诊问题的研究背景和现状进行分析，明确研究背景和意义，并对国内外研究现状进行综述；其次，对应急医疗伤员分诊问题的相关理论进行阐述，其中包括：应急管理的概述和特点以及应急医疗的概述和特点总结，基于此构建本文的伤员综合分诊流程的研究框架；然后，分别构建考虑交通拥堵的行程时间预测子模型和基于效用的应急医疗治疗效用评价子模型，据此形成综合分诊模型，并通过相关实例分析，进行验证；最后，结论与展望部分对本文的主要贡献以及有待深入开展研究的问题进行了总结分析。具体的研究思路图如下如 1.1 所示。

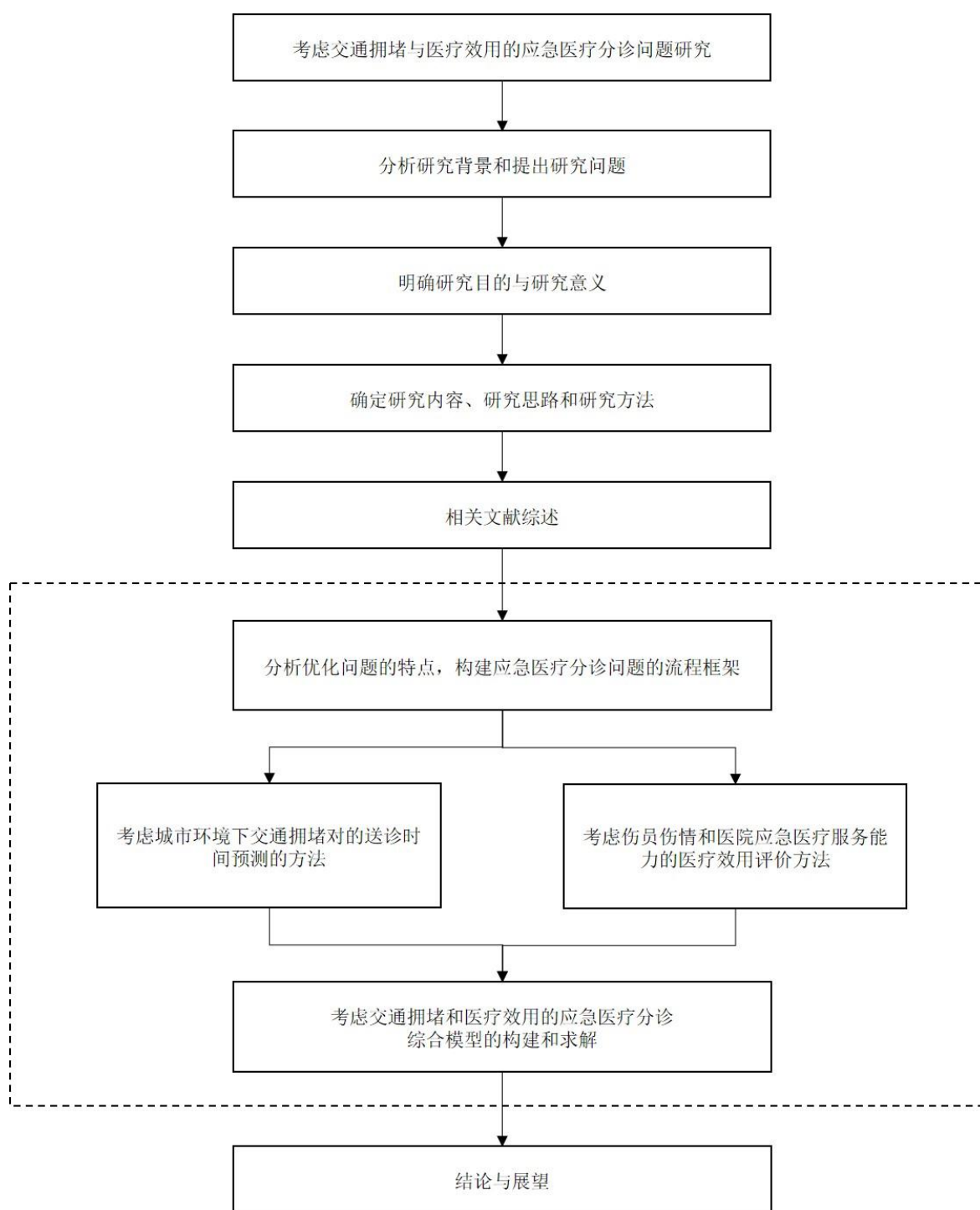


图1.1 本文思路导图

1.5 论文结构

本文共有七章，各章节的主要内容如下：

第一章，绪论。首先通过对突发事件以及应急医疗服务背景的概述明确应急医疗

服务中伤员分诊问题研究的重要性,进一步地分析了应急医疗服务中伤员分诊问题方法创新的必要性。然后对本文的研究目标、研究内容、研究意义以及研究思路和方法进行了阐述。

第二章,相关文献综述。通过对与应急医疗服务中伤员分诊问题相关的国内外文献的综合查询以及研究趋势的分析,介绍了当前相关研究领域的学术发展趋势和方向,然后分类阐述了各领域的研究现状。最后,对现有文献研究的贡献和不足之处进行详细分析和陈述。

第三章,应急医疗服务中伤员分诊问题相关概念以及理论概述。本章节主要对应急管理、应急医疗服务的主要特征进行了综合分析和陈述,在此基础上提出了应急医疗服务中伤员分诊问题的实施方案和一般流程框架。

第四章,考虑城市交通拥堵的特点,基于马尔可夫改进的指数平滑法,选用速度参数来作为交通拥堵的刻画因素,对突发事件源与医院之间的送诊时间进行预先估计,从而选择最优路线和最短送诊时间。

第五章,在考虑资源利用效率的基础之上,通过快速识别伤员伤情的病情危重程度,同时对医院的应急服务能力做出评估,运用效用理论评估不同伤情和医院应急医疗服务能力下的治疗效用,并给出了具体的实施方法。

第六章,基于快速响应和高效响应的优化目标建立应急医疗中伤员的分诊模型,并给出求解方法。

第七章,结论与展望。本章主要分析了本文的主要研究成果、主要贡献以及需要进一步展开研究的内容与方向。

第二章 相关文献综述

社会的高速发展过程中伴随着很多的突发事件的发生,这些突发事件往往造成了巨大的损失,给全球居民都带来不可避免的物质损失和精神恐慌情绪,造成了极为不好的社会影响,而应急医疗服务已经成为社会生活的重要环节,在突发事件应急救援中发挥着越来越重要的作用,成为保障人民生命财产安全的最为重要的一道防线。为了更加高效地实施救援活动以及做好突发事件救援预案,国际国内各政府和民间组织投入了大量精力来引导相关研究,这也吸引着越来越多的专家、研究员、学者投入了大量的时间和精力来研究应急救援的各方面事务,同时也逐步形成了独立的学科体系,构建起了系统化的理论和实践方法,为应急救援提供了大量有益的理论和方法指导,有效地指导着应急救援行动。随着社会环境的变化与发展,为适应新环境和新形势的要求,需要我们不断扩充应急救援的理论和实践。因此,本文以应急救援中的伤员救援活动为研究问题的背景,同时考虑到城市交通环境的影响,而本章主要从以下几个方面来对已有的相关研究成果展开论述:首先是针对应急服务研究成果展开论述,分别从应急管理和应急医疗管理两个方面展开;其次,对交通拥堵相关的研究以及成果展开了分析和论述。本章着力于通过现有文献的综合检索来寻求解决问题之道,同时通过已有文献的分析和论述为后文相关研究奠定理论和方法基础。

2.1 文献检索情况

2.1.1 相关文献情况分析

在文献检索过程中,主要是以国内外公开的学术资料为主,包括各类数据库资源、网络资源等等,其中,中文文献主要是使用“应急医疗”、“交通拥堵”作为关键词在中国学术期刊网全文数据库中分别对期刊论文和硕博学位论文进行了检索,英文主要是使用“emergency medical”和“traffic congestion”对包括 Elsevier 数据库、Springer 全文数据库和 IEL 数据库进行了检索分析。检索过程中的数据范围限定为 2000 年至 2017 年,相关数据汇总如下表 2.1 所示。

表2.1 相关文献综合检索情况

检索源	主题词	检索项	篇数	特别相关 篇数
中国学术期刊网全 文数据库	应急医疗	关键词	3344	177
	交通拥堵		6896	206

中国优秀硕博学位论文全文数据库	应急医疗	关键词	619	43
	交通拥堵		661	120
Elsevier Science 数据库	Emergency medical	Keyword	7767	447
	Traffic congestion		149	88
Springer 全文数据库	Emergency medical	Keyword	8740	91
	Traffic congestion		7874	160
IEL	Emergency medical	Keyword	2188	215
	Traffic congestion		1588	139
合计	应急医疗		22658	973
	交通拥堵		17168	713

2.1.2 学术趋势分析

为了对应急医疗中分诊相关问题研究的趋势做出分析,作者以 CNKI 学术趋势分析工具,对“应急医疗”、“交通拥堵”和“医疗分诊”作为检索词,进行了学术趋势分析。图 2.1 展示的是“应急医疗”问题的学术关注度和用户关注度,图 2.2 展示的是“交通拥堵”问题的学术关注度和用户关注度。从图 2.1 和图 2.2 可以看出,从 1997 年到 2017 年,“应急医疗”和“交通拥堵”问题的学术研究关注度呈现明显的上升趋势:“应急医疗”问题在 2006 年和 2007 年有较大的提升,“交通拥堵”问题在 2010 年到 2013 年间有较大幅度的提升。学术趋势说明了应急医疗和交通拥堵是一个逐步得到较多关注的研究问题,从另一个侧面也反映了本文研究的价值和意义。

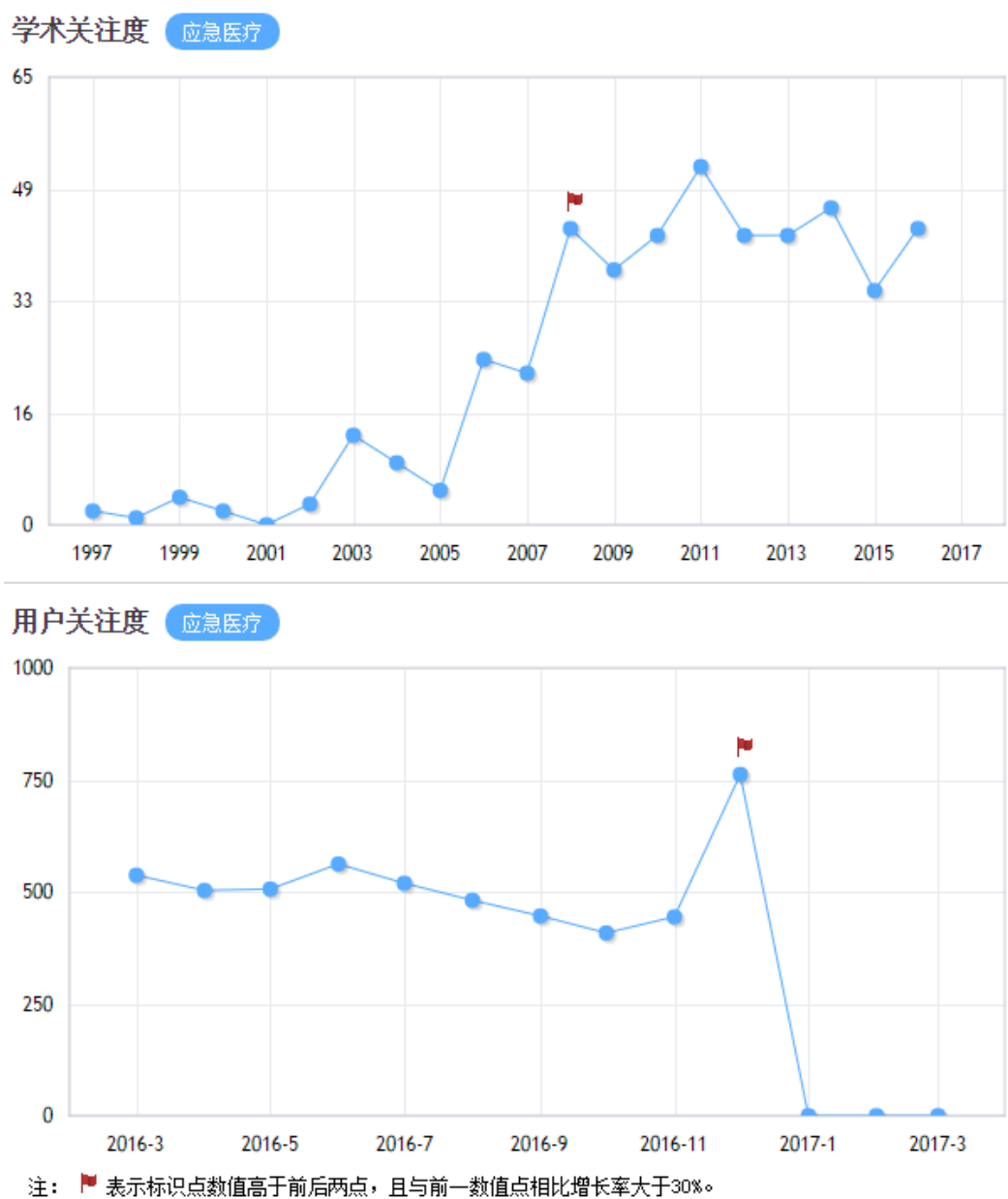


图2.1 CNKI 应急医疗的学术趋势分析

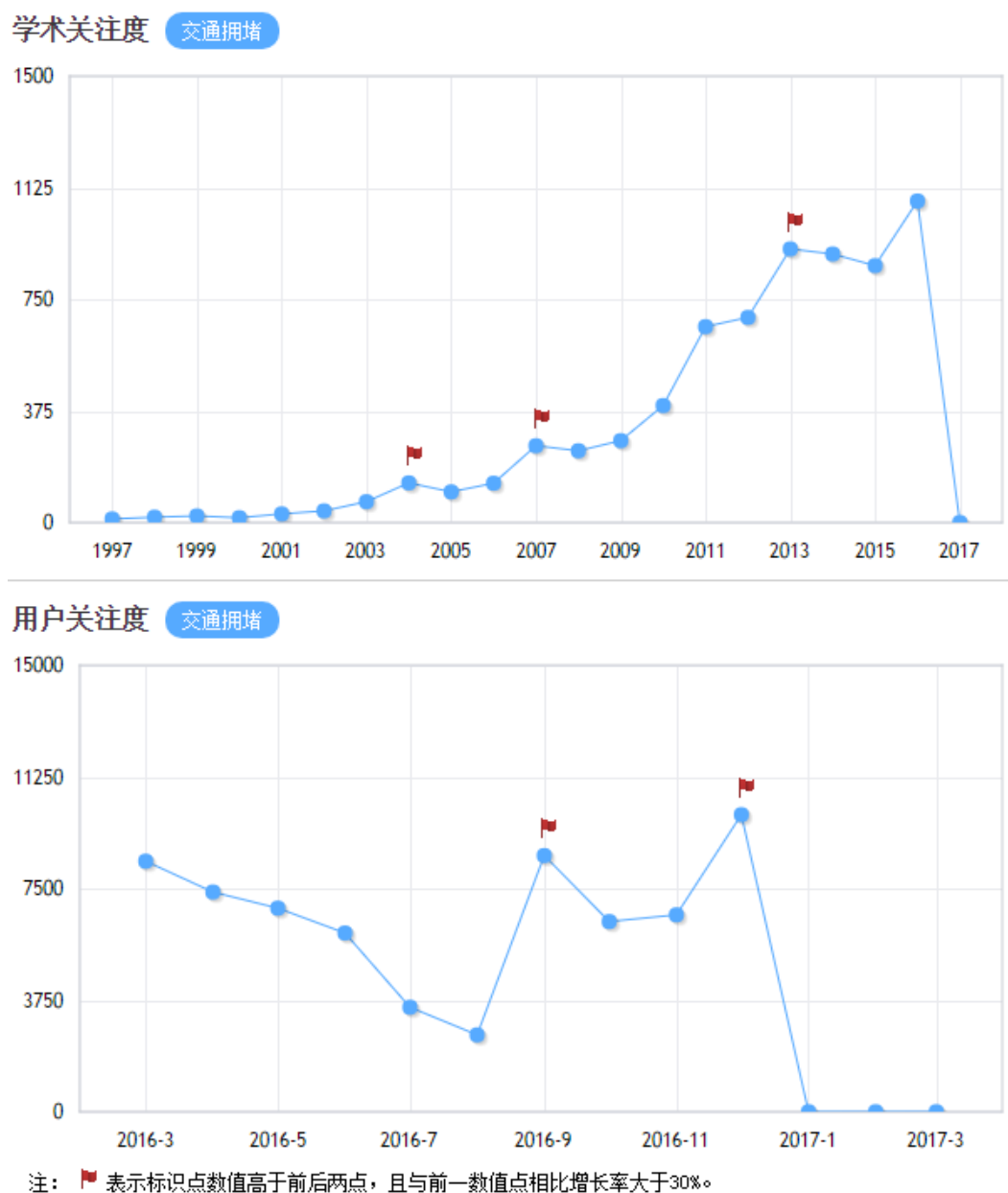


图2.2 CNKI 对交通拥堵的学术趋势分析

2.2 应急服务研究成果综述

2.2.1 应急管理研究

重特大传染性疾病以及其他重特大群体性疾病、自然灾害、危害严重的食品安全事故、各类核泄漏与放射性事故、各种恐怖袭击活动等等严重地威胁着人们的健康状况和生命安全，为了应对此类突发事件，减少其对社会和公民造成的损害，应急管理正是应对突发事件以及重特大事故灾害的预案机制。应急管理是指政府或其他的民间

组织等公共机构在突发事件的事前预防、事发应对、事中处置和善后恢复的全过程中，通过事先确立必要的应对措施，综合运用各种科学管理技术、方法，规划、协调措施等手段，达成保障公众生命健康和财产安全，促进社会生产生活快速恢复目标的预案机制^[4]。应急管理研究主要包括：应急机理机制研究、应急服务体系研究、应急服务实践方式等方面。应急机理机制主要是指突发事件的演变规律性——包含事件的发生、发展直至消亡的全过程，以及针对事件的演变规律的应急处理措施的规律性。

当前，国外的一些研究主要是从对突发事件的发生、发展机理的研究中了解、解释和应用应急管理机理机制，如：美国联邦英爱计划（FRP）对常规级到特定领域级的突发事件的威胁严重程度划分了五个逐步递进的层次^[3]，同时也在各行业的突发事件处理中得到了广泛的应用和拓展。Steven 和 Fink^[5]从实践经验出发，对应急管理的理论就行了比较全面的梳理和阐述。Femandez^[6]认为突发事件各个阶段具有很大的动态性、复杂性和不确定性，同时事件之间也具有很强的独立性，相应的应急管理策略应当针对这些特点采取不同的措施和方法。Fan 和 Li^[7]等学者在对瓦斯爆炸应急相应系统的研究中，将案例推理中常用的案例检索方法运用于计算混合相似度并得到较好的运用和实施。Liu 和 Fan^[8]等研究者考虑到应急响应中决策者的心理行为的不同，从而提出了基于累积前景理论的风险决策分析方法来解决应急响应中的风险决策问题，Choquet 积分用于确定每个潜在响应结果的值，通过计算所有潜在响应结果的概率的权重，进而确定每个响应动作的前景值，在获取总体前景值得基础上，确定了所有响应动作的排名。

国内的研究也在应急预案分类、物资储备与选址、智能化管理等方面深入开展，如：吴宗之和刘茂^[9]提出了重大应急救援分级、分类体系，提出了应急预案分级的一般方法：预防内容、预备程序、应急响应程序和恢复程序。杨静^[10]等从系统理论方法出发，对突发事件动态分级分类进行了分析研究，突出了时间因素的重要性，进而以此确定突发事件的发生发展以及转移状态变化并以此为应急处置预案的提出提供了依据。樊治平^[11]等学者考虑到应急处置方案在干预突发事件中可能产生的一些后果和影响的情况下，基于前景理论提出了一种风险控制的决策方法并检验了其可行性和有效性。付德强和张伟^[12]考虑到应急物资储备库选址问题与应急服务的服务成本和服务质量问题有很大的关系，从规模经济的角度，提出了以服务质量最大化和服务成本最小化为目标的双目标整数规划模型，并运用带精英策略的快速非支配排序遗传算法进行求解，结果表明应急物资倾向于集中化的储备从而平衡服务成本和服务的质量。王能干^[13]等研究人员采用了本体研究理论七步法、本体构建工具和本体描述语言，完成了应急服务领域的本体库的构建，从而实现应急服务信息的计算机可理解化，对于突发事件的应急预案和处置的信息化、智能化以及信息的交换和共享具有极大的推动作用。

2.2.2 应急医疗管理研究

突发事件发生后首要解决的问题就是伤员的救治, 应急医疗服务系统(Emergency medical Service System, EMSS)的概念最初是来源于上世纪的第一次和第二次世界大战以及 1950 年以后爆发的朝鲜战争和越南战争^[14], 在战争中有很多的伤员需要进行现场以及转移治疗。但是, 限于当时医疗以及管理水平的限制, 在这些战争中产生的诸如技术粗糙, 设备老旧, 处理措施不当, 协调和协作以及管理问题使得当时的应急医疗只能应对局部或者小范围内的应急救援, 无法处置特大规模以及大规模的突发事件的应急救援活动。直到 1966 年, 随着美国科学院的白皮书“Accidental death and disability: the neglected disease of modern society”的发布, 才逐步意识到建立科学的应急医疗体系的重要性, 同时注重培养专业化的急救人员和规范化的救援车辆和设备也日益得到重视, 该白皮书也被视作应急医疗史发展的里程碑事件。其后, 随着科学技术以及管理理论的成熟, 应急医疗也得到了广泛关注并得到了长足的发展。下面将分别从不同角度展开综述:

在应急服务系统研究方面, 1969 年, 两位医生 Criley 和 Graf 分别从消防员提供应急医疗服务的角度和院前医疗服务于急诊服务网络规划角度探讨了应急医疗服务体系的建立^[14]。Reddy 和 Paul^[15]对应急处置部门进行了整合研究, 提出了信息流通缺乏共同的基础、流通的效率低以及信息的中断时影响突发事件处置效率的主要因素, 并建议通过改进信息沟通方式和信息传输效率来提高应急系统的处置效率。

在应急医疗支持系统研究方面, Nakajima^[16]等学者研究了使用卫星通信技术来进行信息通行并追踪日本国内医疗网络中的救护车的规划与投放, 这在很大程度上可以使得更多的病人得到及时的救治, 并减少应急医疗投入和支出。Hassinen^[17]等研究人员研究了应急医疗服务的文件移动系统, 提出了可以更好地提供更全面、更详细的救助文件的解决方案, 从而实现较少的人力物力投入达到了更好地协调救援工作的目的。Capatina^[18]等提出了一个适用于急诊环境下的移动通信系统, 可以更好地实现远程医疗数据传输和远程的医疗服务, 确保了对重大的创伤早期的准确诊断和救治以及分类治疗, 其基于超声聚焦评估技术(Focused Assessment with Sonography for Trauma, FAST)概念开发出了可以极大提高应急医疗服务性能的工具和先进的集成电路技术。

在应急医疗系统资源管理方面, 既包括了医疗机构的选址规划同时也包含急救车辆的布局 and 调度问题, 同时还包括医护人员的协调和排程问题, Bereldi 和 Conforti^[19]考虑到应急医疗的服务需求特点, 运用随机规划模型来解决规模大小和地理位置的问题, 以求达到有效的服务水平和较少的费用投入。Sydney 和 Lisa^[20]针对香港地区的特点, 提出了有针对性的医院选址和起源配置模型和框架, 并成功应用于香港管理局的管理实践中。Chen^[21]等研究者不仅考虑到了医生、护士以及其他的医护人员个体的能力, 同时对个体之间的协作配套能力加以考察, 综合考虑个体绩效与群体绩效,

运用两阶段法研究了医疗团队的主题选择问题,给出了获取最优的主题构成的方法。Souza^[22]等学者考虑到医疗服务系统中病人主体的严重程度,并进行了合理的划分,确立了不同的优先级别,同时也指出响应时间在医疗服务中的重要性。宫尚宝^[23]等研究人员研究了社区医院的选址问题,采用了BP神经网络的方法,可以更好地避免模糊评价矩阵的一致性检验的不足之处,同时可以客观地评价多个选址方案的优劣。陆相林^[24]等人分析了在一定的覆盖范围内需求的差异性特点,改进了设施点数量分布数学模型。代英姿和王兆刚^[25]分析了我国医疗体制改革背景下,我国医疗资源配置中存在的一些问题并指出应当加强政府的监督作用并在初级医疗资源的配置中更好地发挥调控功能,进而缩短城乡居民医疗差异化。张杰和王志勇^[26]等人综合考虑到路径形成时间可靠性、路径阻断风险以及路径复杂性的基础上,以地震灾害为背景,构建了路径选择的多目标规划模型以及求解方法。王旭坪^[27]等人针对突发事件的不确定性特点,对多种情形下的应急路径选择问题进行了分析研究,并构建了情景分析书以及相应的理想路径。唐伟勤^[28]等人针对应急救援中的包括车辆等资源在内的物资的调度问题,以最小化时间因素为目标构建了优化模型。姜艳萍^[29]等研究人员提出了医院应急救援能力评价的指标体系,通过综合考虑应急救援中决策者对应急医疗能力指标的期望与相应的医院的应急医疗能力来进行应急救援中的医院的选择。

在医疗分诊方面,Guo Qiang^[30]等对天津港爆炸事件后的平津医院的急救病例进行了分析,他们认为可以通过一个改进医院的急救反应分类控制方法来实施损伤控制和改进。高美华^[31]通过改进早期预警评分同时结合格拉斯哥昏迷评分方法研究了其在急诊脑外科伤患者中的应用效果,对住院时长、治疗成本、预后恢复等的作用都进行了研究,结果表明MEWS和GCS结合能够较好地评级患者的脑外伤情的严重程度。金静芬和郭芝廷^[32]探讨了国内三甲医院急诊预检系统的应用现状并提出了科学分诊系统标准的对策。黄雪丽和郭爱敏^[33]综述了国外常用的几种急诊分诊标准的使用评述,可以为我国相关应用提供借鉴。韦敏俭^[34]等为提高急诊分诊准确性的问题,对四级分类方法的医疗实践进行了研究,研究结果表明四级分诊标准的应用明显提高了分诊的准确率,保证了危机病人得到及时的救治。吴世玲和余春玲^[35]对急诊分诊中护士的角色定位和岗位功能进行了研究综述,为急诊护士的定位和功能提供了指导。刘奕沙和刘毅^[36]分析了我国急诊分诊中存在的一些问题,并对原因进行了追溯,同时提出了改进的方法。刘颖^[37]等对国内急诊预检的现状进行了分析,提出急诊预检分诊是急诊流程中的核心环节,并提出了改进之法。许红莲和汤天平^[38]探讨了突发事件救援中成批伤员的急诊分诊方法和模式,他们认为急诊分诊效率对抢救成功关系重大。金静芬^[39]等以《医院急诊科规范化流程》为标准运用科学分析方法建立了可量化的、简便的、科学的患者预检分诊标准。

同时,在应急医疗的其他一些方面的研究也在开展之中,Gill和William^[40]考虑

到基于医院内协作的应急医疗服务团队的选择问题,并对护士团队在较大规模的应急医疗事件中的整合作用。Popovich^[41]等研究人员也指出在处置诸如传染性疾病、生物恐怖袭击等突发性的危害公共安全的公共卫生事件中,政府和有关组织应当加强对公共卫生系统的投资,建立、健全并完善公共卫生体系,特别是预案规划以及准备评估阶段,流行性病学检测能力,生物医学实验能力,疫情警报与通讯,卫生风险评级以及卫生信息传播,卫生教育和培训等方面需要重点关注并加大投入力度。

2.3 交通拥堵研究成果综述

随着城市化和工业化的发展,交通拥堵问题已经成为世界上各大中城市面临的共同问题,欧美各国自 20 世纪 60 年代就已经有针对交通拥堵问题的研究。近些年来,交通拥堵相关研究主要聚焦于交通拥堵的识别与预测,交通拥堵的现状研究与交通拥堵的解决之道等方面。本节将主要从交通拥堵的识别与预测方面对交通拥堵相关研究进行综述。

交通拥堵的识别与预测主要是依据交通流的传播特性,采用一些交通参数来对未来的交通状况进行提前的分析和识别,如: Quiroga^[42]考虑到许多的大型城市已经或者计划开始检测其城市运输网络的性能的现实,提出了一个审查程序和地理信息系统技术方案来收集相关数据用于拥塞系统,实现城市交通拥堵的衡量和预测管理。Meng^[43]等人通过连续网路设计问题来实现现有路径中的拥堵识别与路径优化,并将此方法拓展以适应不断增长的交通需求下的交通网络中拥塞链接的能力扩大化现象或者建立新的链接来解决拥堵问题。Abadie 和 Ehrlich^[44]讨论了量化拥塞的各种方法,以及这些不同措施各自的优缺点以及由此带来的不同影响问题。Li^[45]回顾了交通流中的非线性现象建模等方面的一些进展以及面临的挑战,并讨论了采用非线性动态方法构建了交通拥堵的非动力学模型。Kerner^[46]等人通过浮动车采集的数据实现交通参数的测算,并设定相应的阈值作为交通拥堵识别的方法。Bremmer^[47]等人提出了时间可靠性的概念,并运用调查得到的数据对此概念进行了分析和验证。Asano 和 Sumalee^[48]等学者采用改进的 CTM 模型来表示人流的动态传播现象,并以此来模拟交通流的多向传播特性。

国内学者对交通拥堵问题也进行了很多方面的探索和分析,在交通拥堵的识别和状态划分方面:张和生^[49]等人依据区域内的交通特点,通过划分不同状态下交通拥堵的截值,将路口的交通状态划分为不同的层次,构建了交通拥堵状态的时空分层模型。任其亮和肖裕民^[50]根据交通拥堵的空间特性将路段拥堵和交叉口拥堵按照畅通、较畅通、较拥堵、拥堵、拥塞 5 个等级划分,并选取了各状态下的评价指标,结合层级分析法建立了 H-Fuzzy 综合模糊评判模型,验证其是城市交通拥堵评估的一种定量分析

的有效方式。刘梦涵^[51]等研究人员克服了现有拥堵评价方法中变量相关性较强的问题,对交通拥堵强度采取累积 Logistic 回归方法建立评价模型,实验验证该模型对实测数据预测的准确率达 73.39%。沈小军^[52]等人利用速度等相关交通参数,提出了基于学习向量量化(LVQ)神经网络方法建立的交通拥堵预测模型,可以较快较好地实现交通拥堵状态的判别。张水潮^[53]等人综合利用层次分析法和模糊综合评价法的优点,并参考带转向延误用户平衡分配问题的理论,提出了交通规划阶段的交通拥堵的定量计算方法。王妍颖和黄宇^[54]从整体路网结构角度出发,构建了一套符合具有北京特色的交通拥堵评价指标体系,从而实时地对交通拥堵状态进行检测和动态跟踪。张婧,任刚^[55]针对交通拥堵区域的相关交通参数的时空特性问题,提出了相关性指标和数据分段的算法,将实际测得的速度轨迹进行分解,得到多时间尺度的趋势和细节的分量,从而描述拥堵的时空扩散特征。袁长伟^[56]从需求理论角度出发,对出租汽车需求与收入关系进行分析,构建了考虑交通拥堵的出租汽车候时费优化模型,并对北京市出租汽车的方案进行了检验和分析。祁宏生^[57]等对单车道与多车道在复杂条件下的交通拥堵传播规律进行分析,基于交通波理论研究了交通拥堵形成的临界条件,结果表明,路段的路网结构、交通需求的无规律性和信号灯的设置都会影响到交通拥堵的产生和扩散。

2.4 已有研究成果的贡献与不足

通过对国内外与应急服务以及应急医疗方面的大量相关文献的检索、梳理、分类以及分析,可以发现虽然与应急医疗分诊直接相关的研究课题起步较晚,但是与之相关的很多研究课题已经进行了深入的研究和发展,这些相关课题中的很多的成熟的理论和成果为应急医疗后续研究提供了很好的理论借鉴和现实指导意义,而且有很多成熟理论可以直接应用于应急医疗中分诊问题的研究中来。当下,应急医疗已经得到了很多学者的关注,也越来越成为科技发展、社会管理等方面的研究热点问题。当然,面对当下的具体环境、人口膨胀的现实状况以及日益复杂的国际国内形势,已有的研究成果在解决当下现实问题的时候也遇到了很多的挑战。以下将会对已有研究成果的贡献与不足之处分别加以阐述。

2.4.1 已有研究成果的主要贡献

目前学界在应急服务以及医疗管理领域都取得了一些比较成熟的理论和方法,同时在解决问题的理论和方法上取得一些长足的进步,具体表现在一下一些方面。

(1) 已有的关于应急服务相关的研究进展为本文研究问题的提出与开展提供了很好的依据和现实背景。在当下的关于应急服务的研究中,对于应急管理的相关概念、

应急服务的机理机制、相关工具和技术成果为本文研究问题的开展提供了大量可信度高、可行性强的素材和实际背景支撑，为后文研究问题的开展提供了支持。

(2) 已有的相关研究成果充分说明了应急服务于应急医疗问题的研究的重要性以及其在社会生活中具有的广泛的现实基础和意义，对于在指导应急医疗救援的实践中提高救援效率发挥了重要的作用。

(3) 已有的相关研究成果为本文所要解决的研究问题提供了方法的借鉴和指引作用。现有的研究问题都是现实生活中遇到的实际问题，而在研究过程中的提出问题、分析问题、解决问题中使用的诸多决策方法、数学模型方法以及智能算法等为本文研究问题的解决具有很多的借鉴意义和巨大的参考价值。

2.4.2 已有研究成果的不足之处

虽然目前对于应急医疗服务的研究取得了一些成果，但是针对于我国当前的现实环境以及相应的医疗救援工作中的指挥协调等方面的研究略显不足，有部分问题还有待更深入的研究。

(1) 目前学界对于应急医疗服务尚未形成一个具体完备的理论体系和指导框架。现有研究对于应急医疗服务相关的问题的界定和提炼不是十分明确，在对应急医疗服务的研究体系和架构方面缺乏系统完备的总结分析，这对于新的相关研究问题的识别、提炼和开展研究等会造成一定的困扰，甚至会阻碍相关课题和领域研究的深入和拓展。

(2) 目前与医疗分诊相关的研究大多都是一些实证与验证类的研究，在流程创新与理论创新等方面缺乏深入的研究，这使得相关的理论和方法创新落后于新形势下的应急医疗分诊实践，不能有效指导新形势下的应急医疗分诊的具体实践。

(3) 现有研究更多是局限于医院内的某些科室或者部门之间伤病人员的分流与协调，比如手术室资源、门诊病房和床位、医生护士排班值班等资源的分配和利用等一些比较单一化的问题，缺乏从整体医疗系统和医疗网络的、综合能力的整体效用的规划和协作，不利于医疗资源配置的公平效率。

(4) 现有相关研究以及应急救援的现状都缺乏对医疗资源效率的考虑，这往往意味着医疗资源的浪费和不当利用，因此，需要对资源利用效率以及医疗效用的角度对医疗资源的使用和配置进行合理规划，从而提高资源利用效率，同时这对于人们的医疗观念的转变和就医途径等的改变都具有引领和指导作用。

2.5 本章小结

本章通过对多个中文和外文数据库资源进行检索，分别对应急医疗和交通拥堵相关的文献展开综述，分别从应急管理、应急医疗管理、交通拥堵等几个方面来开展。

首先,一方面阐述了导致应急管理的突发事件的发生、发展以及相应的应急管理机制、预案分类和物资储备以及智能化管理等方面的问题进行了叙述,另一方面对应急医疗服务支持系统、应急医疗资源规划与管理以及医疗分诊等方面的问题进行了综述。然后,从交通拥堵的识别与预测以及交通流的传播特性等方面对交通拥堵相关的文献进行了分析和梳理。最后,对现有文献中的一些主要贡献和不足之处进行了分析。本章的目的在于对相关文献进行了深入分析的基础之上,从中发掘了已有的研究成果中的成熟的理论和实用的方法,为本文后续研究问题的开展奠定了理论和方法基础。同时,在挖掘文献的过程中也发现了目前研究的一些盲点,从而明确了本文的研究方向和目标,为后续章节的开展奠定稳固的基石。

第三章 相关理论基础及研究框架

在第二章文献的梳理分析和综述基础之上，本章将对应急医疗服务中伤员分诊问题的相关理论基础工作进行梳理分析，形成系统性的理论框架和研究的基本方案，对本文的研究问题及其作用形成明确的界定，为相关问题形成可行化的、有效的解决方案。为达成以上目标，首先，需要明晰突发事件处置中的应急管理的基本概念和特点，明确本文的研究问题和研究对象的基本特征；其次，需要详细了解应急医疗服务的特征，对应急医疗服务的机理和方法进行深入分析；最后，结合突发事件中应急机理与应急医疗服务的特性，联系实际情况形成针对应急医疗救援的伤员分诊的基本流程和框架，从而有效指导现实生活中的救援行动。

3.1 应急管理概述

3.1.1 应急管理的定义

应急管理是指为应对重特大事故灾害，降低或减轻突发事件所带来的对社会的严重危害和巨大破坏，在中央政府以及地方各级政府和有关部门主导下，综合应用科学技术方法、管理理论和规划运行方案而形成的有计划、有组织、可实行的一系列的可以应用于突发事件的事前预防、事件发生后的及时处置和恢复的管理策略和方法^[58]，及时有效的应急管理措施和方法可以有效防范次生灾害，促进事件发生后的恢复，促进社会和谐健康发展。从定义中可以看到，应急管理是一种预警和防止、缓解和善后的机制，它包括了应急预案机制的建立、实施和处置、善后恢复等过程，同时这几个阶段之间是一种动态变化与互相衔接的关系，需要综合运用管理学中战略管理理论和方法、医疗管理方法、运筹学优化方法以及数理算法等多学科多理论支撑，需要先进的管理理论和技术、信息技术以及通信技术等的支持。

3.1.2 应急管理的主要特征

应急管理是针对突发事件的管理策略与应对措施，突发事件的突发性、群体性、危害性等特点要求应急管理做出快速、有效的反应，同时协调各种资源参与救援，同时做好防范措施和其他管理，唯有这样才能将突发事件的危害程度降低到最小和保证社会生活秩序的快速恢复。

第一，时效性和持续性。由于突发事件的发生往往是无迹可寻的，而且往往造成较为巨大的破坏和危害，同时在较短的时间内容易迅速扩大化，所以应急措施必须能够及时应对，防止事件危害的进一步扩大，同时在危害中容易造成大量的人员伤亡，

必须尽快采取救援措施才能缓解他们的痛苦以及社会的不安情绪。另外，有的突发事件是一个长期的过程，这就要求应急管理具有持续性，进行合理的规划为长期的应对做好准备。

第二，有效性和专业性。由于突发事件造成的破坏是多方面的，因此应急救援就必须针对具体的损害类型采取专业化的救援行动，才能达成救援的目的，即做到有效性。比如对于造成的人员伤害，必须由专业化的医疗卫生人员进行救护，对于造成的环境污染，必须由相应的环保部门组成的专业化人士采取正确的处理方法，对于人们心理造成的恐慌情绪等则必须由心理治疗师进行针对性的治疗，而且这些措施都具有一定的时效性——即必须在突发事件发生后的特定时期内采取措施才是有效的，超过了一定的时限带来的积极效用是有限的，这些都说明了应急管理应当具有有效性和专业性。

第三，复杂性和动态性。突发事件造成的损害和社会影响都是多方面的，引起的社会矛盾涉及的人和物都是广泛的，因此应急管理所面对的救援任务就是多领域的、多层面的、多群体的甚至必须应对国际国内的复杂局势，其复杂性可见一斑。应急管理的动态性一方面反映在突发事件的发生与发展过程是变化的，每时每刻都不尽相同，可能造成二次伤害和此生灾害等情况都是动态变化着的；另一方面，由于人们的救援活动如果缺乏有效指导、资源没有合理使用等情况发生都会影响突发事件与应急救援的发展历程。

3.2 应急医疗服务概述

3.2.1 应急医疗服务的定义

应急医疗服务(Emergency Medical Service, EMS)本质上也是一种急症医疗服务。应急医疗服务是针对突发事件中特定的群体——伤病人员实施的救援活动，它必须在政府以及有关机构的统一组织协调下，有各级医院和急救中心参与，按照以人为本、及时有效、防治结合的原则，实施的应急医疗救治活动^{[59] [60]}。应急医疗服务以减少突发事件造成的人员伤亡和健康损害，缓解伤病人员的痛苦，满足所有伤病人员的医疗救治需求为目的。同时，必须在有关机构的统一组织和协调下，运用现代通讯技术、网络技术等合理地调配医护人员完成包括现场急救、伤员识别、伤员撤离与及时转送、院前救助、院内救治以及后期恢复等救援行动。由此可见，应急医疗服务需要各方参与、统一协调组织，需要综合运用信息技术、系统理论等技术和理论的一项复杂的、专业性要求高、系统性的、网络结构程度高的救援活动。

3.2.2 应急医疗服务的主要特征

应急医疗服务是应急服务的一种，同时针对其特定的服务群体以及行为方式，它不仅具有应急服务的一般特征，还兼具医疗的一些特性主要表现在：

第一，专业性和综合性强。应急医疗服务的对象主要是突发事件中的伤员，而由于突发事件的突发性和危害性等因素造成的后果是无法预见的，因此针对性的救援活动所需要的医疗资源的种类和数量等的要求是多种多样的而且只能是专业程度高的医疗机构才能提供，另外某一个或者几个医疗机构也无法在短时间内提供充足的医疗资源，这就需要其他大量的医疗机构能够提供专业支持，只有集中广泛的资源才能在尽可能短的时间内展开救援活动挽救大量伤员的生命。

第二，时效性和响应性要求高。应急服务中首要的目标是减少人员伤亡，这就要求应急医疗服务可以在突发事件发生后的第一时间内尽快展开救援活动，挽救更多的生命，降低死亡率。1988 年，苏联亚里美亚发生了特大地震，分析地震后的救援工作开展情况发现：在灾后 3 小时内得到救护的伤病人员的存活率可以高达 90%，而在灾后 6 小时内得到医疗救护的伤员中存活率仅有 50%，可见及时的医疗救援对于挽救伤员的生命具有很大的作用。

第三，伤病人员群体较大，病情复杂。突发事件的影响范围一般较广，受影响的人群一般较多，特别是像地震、自然灾害、传染病疫情等，其波及范围较广，有时涉及多个国家和地区，受其影响的人群更众。同时，造成的伤员的病情情况也是多种多样以及由于二次伤害和次生灾害引发的其他状况使得病情异常复杂，这些都极大地增加了诊治的复杂性。

第四，应急医疗具有很大的阶段性和全面性。在应急医疗服务中，既包括现场的急救、病人分诊、院前救治，还包括在院内救治与恢复以及后期的康复治疗，有时还必须包含心理治疗等，此外，应急医疗既要关注个体的治疗过程，还需要做好群体的消毒和疾病预防等情形，所以说应急医疗具有很大的阶段性和全面性，需要个体、群体和社会的通力合作，才能取得最好的救援效果。

3.3 考虑交通拥堵与医疗效用的应急医疗分诊问题研究框架

3.3.1 伤员分诊是应急医疗服务问题研究的关键

在突发事件应急处置中，应急医疗服务对于实现伤员救治以及减轻痛苦的意义已经不容置喙，医疗服务的特殊性表明在提供医疗服务时必须依赖一定的设备和仪器以及熟练的医护人员。因此，在突发事件的伤员救治中需要将伤员送往医院或者是在特大型事故中建立的临时救助中心才能提供医疗服务。在日常的偶发性医疗急诊中，一般会依据伤员个人或是其家属等的医院选择进行救治的医疗服务提供者，而且大多数

的伤员倾向于选择大型综合医院。而在突发事件中面临着大量的伤员需要救治时，仅仅依据伤员或其家属的个人意愿选择医疗服务提供者的做法必然存在一定的局限性：伤员有可能因此得不到及时的治疗、医院等医疗服务提供者可能超负荷运行、医疗资源滥用等问题就会发生。因此，应急医疗救援中，必须采用一定的分诊方法实现伤员的分流，从而有效利用医疗资源，达成救援目标，一般地，应急医疗救援中需要从三个方面来考虑分诊问题：

一是医疗服务的需求者，即伤员或者患者。不同于其它环境下的需求者，医疗服务的需求者对自己的医疗服务的需求往往很难确定，经常高估或低估，而且大多数的患者集中涌向大型综合医院而不考虑自身实际情况。因此，在突发事件应急救援中就必须确立一整套合理的、高效的方法来识别伤员的伤情情况，以此作为区分医疗服务需求的依据。

二是应急医疗服务的提供者，一般是指医院或者是在重特大疫情中设立的临时的救助站和救治中心等。对于应急医疗服务的提供者，不同机构之间的差别主要反映在医用设备的状况和医护人员的经验等，虽然医疗服务具有较强的无形性、不可分离性以及差异性，但是在应急医疗服务中有必要确立医院的医疗服务能力评价机制，从而对不同的医疗资源进行区分以及规划、利用。同时在应急医疗救援网络中对各医院节点的资源情况进行区分有利于促成整体利益的最大化。

三是医疗分诊规则，即实现分诊的具体做法。分诊规则是伤员分诊实施的具体依据，主要是指根据应急医疗网络中的患者实体、医院实体的具体情况，实现二者之间的匹配，满足患者的医疗需求同时减轻医院的负载。好的分诊规则必须考虑到患者的伤情严重程度的差别、优先级别的差异性，同时医院资源的容量限制和类别、医疗服务的可及性和专业化程度等等；好的分诊规则对于应急救援的时间和效果都很有裨益。

3.3.2 应急医疗救援中伤员分诊的基本目标

突发事件一般是群体性事件，造成的影响和危害的波及范围广，特别是造成的大量的人员伤亡对家庭和社会的影响巨大，政府或者其他机构在组织救援时首先考虑的是救助伤员，尽力挽救他们的生命，减轻他们的痛苦，减轻突发事件对社会的冲击和危害，而应急医疗服务在其中发挥着不可替代的重要作用。因此，在突发事件发生后，在政府与其他机构的组织下会迅速开展应急救援行动，同时需要众多的医院、急诊中心等医疗机构的积极参与，投入大量的人力物力等医疗资源，这些资源投入服务于“生命安全第一”的目标，同时在应急医疗服务中也必须遵循以下的基本原则：

第一，及时响应。在应急医疗救援中，响应时间包括在突发事件发生后应急机制启动的时间、医护人员及时到达现场的时间、现场及时的初步处理和病情诊断时间、送诊的时间、医院内的诊治和治疗时间。其中，应急机制启动的时间、现场及时的初

步处理和病情诊断时间和医院救治的时间可以通过合理的救护指挥协调以及预案演练等方式进行极大地缩减，而医护人员到达现场的时间、送诊的时间必须经过合理的预判和路径规划才能将这些时间缩短。

第二，高效救援。应急救援中的效率问题涉及到医疗资源的利用效率，而这有涉及到病人和医院两个主体的资源配置关系。对病人而言，必须对病人的病情的严重程度进行识别，将病人进行分类；对医院而言，必须对医院的应急救援医疗能力进行评判；在医疗资源配置关系上看，病人希望能够接受到最好的医疗服务，无论其病情的严重程度与否，而医院的资源总量有限，能够救治的伤员数量也是有限的，期望能将较好的医疗资源用于救治病情危重的伤员，这样医疗资源得到最好的利用，也使得医疗资源的边际效用达到最大。

3.3.3 应急医疗救援中伤员分诊问题的基本流程

基于上文应急管理、应急医疗服务定义及其基本特征的分析，本文在考虑应急医疗救援时，有必要将应急救援系统中的伤员和医疗资源作为一个整体进行考虑，通过伤员分诊的规划与实施，实现伤员与医院资源的合理匹配和均衡化分布，从而有效达成救援目标。因此，伤员分诊规划与实施中遵循的基本原则就是：应急医疗救援系统内总的送诊时间最短以及医疗效用最好，而实施伤员分诊的基本过程如下：

首先，医疗救护队在现场对伤员的伤势和病情进行快速识别和分类，并采取必要的医疗措施——简单的包扎、供氧等基本医疗护理；其次，根据当时的交通状况以及城市道路交通状况的特点，对事发地点与应急医疗救援系统内医院之间的送诊时间做出预测和估计，并进行路线规划；然后，对应急医疗救援系统内各医院的应急医疗服务能力做出评价，并分析不同伤势和病情与不同医院的医疗效用；最后，结合医院应急医疗资源容量，综合考虑时间和医疗效用，运用伤员分诊模型得到伤员分诊的规划方案并实施方案。

本文针对城市环境下的应急医疗救援中的伤员分诊问题的基本流程和框架如下图 3.1 所示。

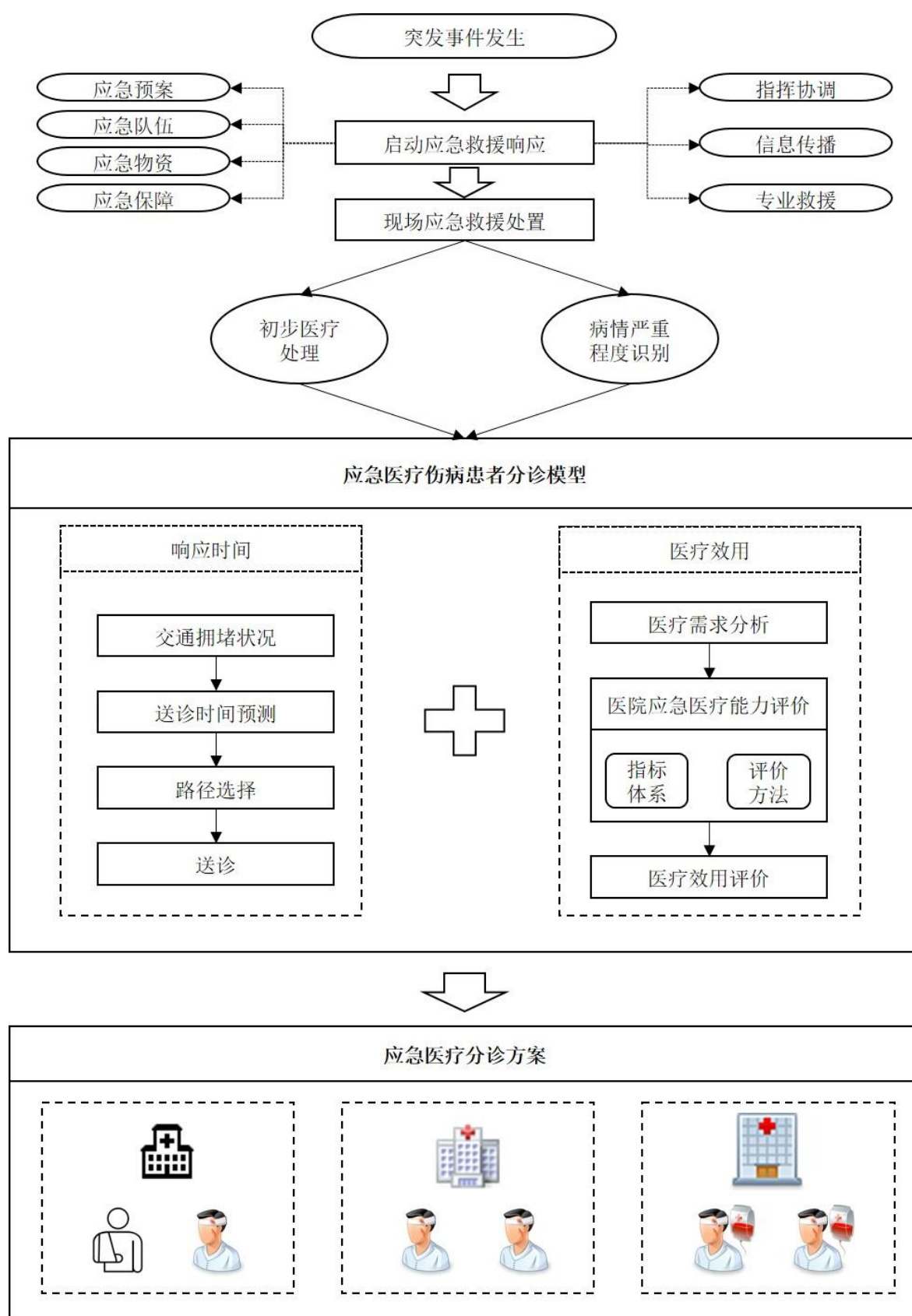


图3.1 应急医疗救援中伤员分诊流程

3.4 本章小结

本章分析了考虑交通拥堵与治疗效用的应急医疗分诊问题的相关理论基础,为解决和优化应急医疗救援中的分诊问题提供理论基础支撑。本章中,首先阐述了应急管理和应急医疗服务的定义及其一般特征。然后详细叙述和分析了考虑交通拥堵和医疗效用的应急医疗伤员分诊问题的研究要点和应急医疗分诊问题的基本优化目标。最后,基于应急医疗管理和应急医疗分诊问题的特点提出了应急医疗中分诊问题的基本流程框架。本章的目的主要是:整理相关理论,明确应急医疗分诊问题的研究对象及其特征,探求解决和优化应急医疗分诊问题的新途径以及优化分诊的方式,同时本章提出的流程框架也是后文研究开展的基本主线,围绕本章应急医疗分诊的基本目标和基本要求可以构建后文应急医疗分诊的基本模型。

第四章 考虑交通拥堵的送诊时间预测方法

在应急医疗救援中，响应的及时性和快速性对于挽救伤病人员生命，减轻他们的痛苦显得尤为重要，而影响应急响应时间的因素主要包括：应急机制启动的时间、救护车辆的行程时间、现场和医院的救治时间，其中应急机制启动的时间以及现场和医院的救治时间在有关部门的统一协调和组织下是可以控制的，并可以尽量缩短至最小，而救护车辆的行程时间是不可控的，具有很大的随机性，因此，找到影响救护车辆的送诊时间的因素，并采取措施来缩短送诊时间显得至关重要。在城市环境下，城市道路交通拥堵状况的严重性、复杂性、随机性会极大地影响救护车辆的道路行程时间，进而影响到应急医疗救援的进程。因此，本章将着重考虑城市交通拥堵情况对医疗救护车辆对伤员送诊时间的影响，并通过对城市交通环境的分析，对应急救援车辆的各路段的行程时间做出合理的估计和预测，帮助医疗救护车辆进行路线规划，尽快地完成伤员送诊活动，达成应急医疗救援的及时性和快速性目标。

4.1 城市道路交通拥堵状况概述

4.1.1 城市交通拥堵特性分析

根据公安部门统计数据表明，截止 2016 年底，全国机动车保有量已经突破 2.9 亿辆，其中个人拥有汽车 1.94 亿辆，而汽车保有量超过 200 万的城市接近 20 多个，其中北京更是到达了 548 万辆，成都、重庆、上海、深圳、苏州等紧随其后也都超过了 300 万辆，而且汽车保有量近年来更是保持平均 40% 的高增长率上涨，可以预见，不久的将来每家每户都会拥有自己的私家车辆，有的甚至都将拥有多辆。然而当前我国基础设施的建设日益落后汽车增长的速度，导致的交通拥堵现象层出不穷，在一些大中城市拥堵几乎天天发生，特别是早晚高峰时期陷入交通拥堵的车流绵延数公里的现象也经常见诸报端，给人们的生活造成的影响是非常显著的，交通拥堵也成为城市治理中被广为诟病的难题。交通拥堵对人们出行造成了极大的影响，下表 4.1 主要反映了交通拥堵造成的出行时间增长的状况。

造成交通拥堵的原因是多方面的：首先是人的因素，随着城市规模的扩大，城市人口迅速膨胀，主要包括上下班在内的出行需求导致交通流量的急剧增长是造成早晚高峰期拥堵的主要因素，此外由于一些出行者的恶意违反交通规则、乱停乱放、闯红灯等不良习惯等在很大程度上都有可能造成交通拥堵；其次是交通环境的因素，受限当前我国城市结构特别是路网结构中的路网密度低、道路容量低、道路结构不合理、交叉结构多等因素，特别是当遇上道路施工、雨雪天气、交通管制、意外事故等情况

时交通拥堵的状况就会变得更加严重;此外还有车辆的因素,由于自用车辆的便利性,使得人们偏好使用私家车辆,虽然提供了公交、地铁等公用交通方式,但是其乘车环境差、便利性不足等使得使用率未达到预期,这些因素都是导致了交通拥堵的频繁发生^[61]。

表4.1 交通拥堵状况造成出行时间增长的状况

状态	拥堵指数	交通状况	对应路况	出行耗时
1	[0,2]	畅通	基本没有道路拥堵	可以按道路限速标准行驶
2	(2,4]	基本畅通	有少量道路拥堵	比畅通时多耗时 0.2 至 0.5 倍
3	(4,6]	轻度拥堵	部分环路、主干路拥堵	比畅通时多耗时 0.5 至 0.8 倍
4	(6,8]	中度拥堵	大量环路、主干路拥堵	比畅通时多耗时 0.8 至 1.1 倍
5	(8,10]	严重拥堵	全市大部分道路拥堵	比畅通时多耗时 1.1 倍以上

基于以上分析可以将交通拥堵定义为:由于某些外界复杂因素导致的交通供给与需求的矛盾,造成道路网络中机动车辆行程时间延长的一种交通现象^[61]。交通拥堵的分类方式也有多种,按照拥堵状况的程度可以分为轻度拥堵、中度拥堵、严重拥堵;按照拥堵的成因可以分为常发性拥堵和偶发性拥堵;根据拥堵形成的先后次序可以分为初始交通拥挤和后续交通拥挤^[62]。从本文的研究问题出发,本文主要考虑的是常发性交通拥堵对救护车行程时间的影响,即由于交通出行需求的常发性或井喷式增长造成的道路设施不能满足需求的情况导致的交通拥堵,例如发生在工作日的上下班高峰时期发生的交通拥堵现象等场景^[63]。常发性交通拥堵具有一定的规律性,它可以通过长期的观察和分析,结合路网结构,能够比较准确的获取发生交通拥堵的位置点和时间节点。基于常发性交通拥堵的规律,在科学分析的基础上,可以部分避免其带来的不利影响,采取绕道出行或者避开高峰时刻等措施。

4.1.2 交通拥堵与交通参数

对于交通拥堵,出行者的直观感受最为明显,如:车辆行驶缓慢,时间明显延长,车队滞留等。现代交通理论的发展表明,可以通过交通参数来描述和表征交通状况。交通参数是描述和反映交通流性质的一些物理量,主要有道路参数、车流速度、交通流量、排队长度、密度和通行能力等^[64]。他们从本质上是通过交通参数的变化来说明交通状况的变化,其中车速、交通流量和交通密度是反映交通状况的最为核心的参数,被称为基本交通参数。通过对交通参数的观测与分析可以方便地获取交通状况的有关信息,据此可以识别出交通状态。

对于交通参数的获取与采集,一般有两种方式:基于固定的检测器的和基于移动

着的检测器的数据采取方式。基于移动着的检测器的数据获取方式主要是利用城市道路上运行着的出租车辆、公交车辆、私家车等被称为“浮动车”上的监测设备的数据反馈来采集相应的交通参数；而基于固定的监测器的数据收集方式主要是利用安装在城市道路上的线圈、雷达、视频、激光等测控设备来收集分析相关的交通参数。考虑到城市道路上的浮动车的数量和分布等有时极不均匀的现状，可能对预测结果产生较大的偏差，而且当前我国城市监测体系不断完善、监测设备数量越来越多，可以满足实际需求，可以获取的交通数据也越来越精确，本文认为通过固定监测设备获取的交通参数信息可以用于行程时间的估计中所需的基本参数。下图 4.1 所示即为一种综合交通控制系统，其中信息采取使用的正是基于一些固定检测器的方法。

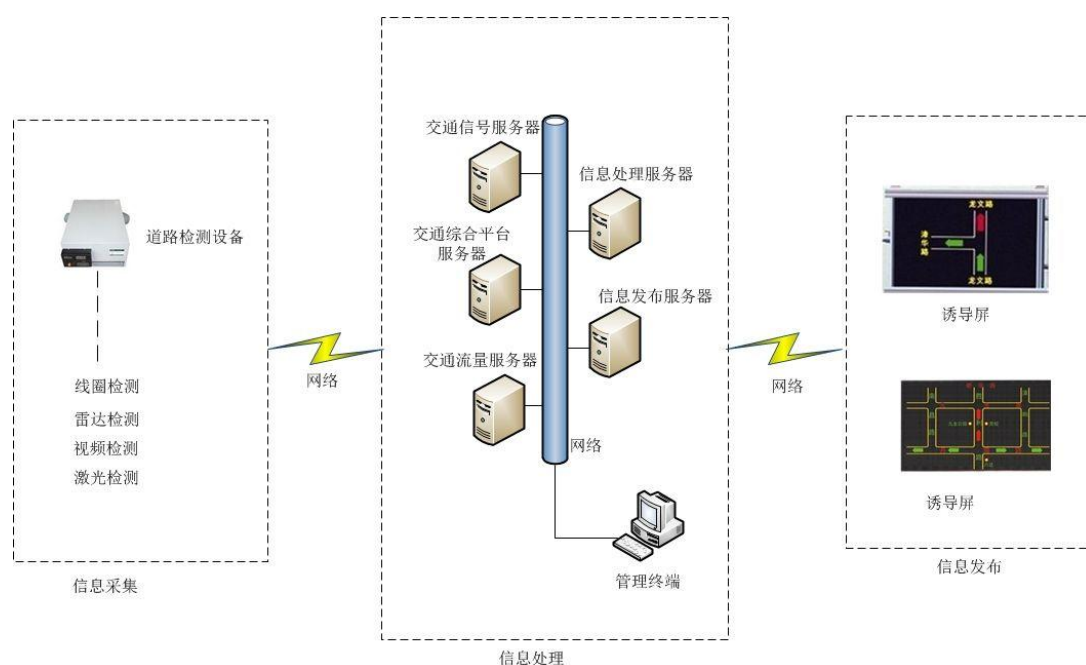


图4.1 一种综合交通控制系统示例

城市道路结构的复杂性伴随着车流和人流的极大随机性给城市环境下的车辆出行行程时间的估计和预测造成了极大的困扰，其中道路的结构和交通流的拥堵状况是影响城市道路行程时间预测中最根本也是最直接的两个因素。一方面，在相关的技术和研究中，路径的选择、交通流量的预测、交通拥堵状况的识别等方面的研究已有一些积淀同时也在国内部分大中城市获得了一些较好的应用，在指导交通运行等方面积累了有益的经验，另一方面在应用中积累的一些经验也更好地促进着相关研究的深入开展。在这些研究中，识别交通状况的主要依据是包括交通流量、路程、车速、密度和通行能力等在内的交通参数，量化参数具有的科学性、直观性、可操作性强等优点使得运用这些量化参数来描述和研究交通状况成为可能也使得我们对交通状况的本质的研究越来越深入。由此可见，在行程时间的预测中使用诸如车速、路程等交通参

数是合理的也是科学的。鉴于此，本章本着科学准确、可操作性强的原则，选取速度交通参数来构建城市道路行程时间的预测模型，以实现行程时间的准确和有效预测。

在对速度参数的有关特点进行分析后，发现其具有以下一些规律性——稳定性较强，随机性浮动：在同一观测点，不同历史观测时间，速度值具有一定的稳定性，或者是在一定的范围内上下波动，而且这种变动具有一些规律性，如一般在工作日速度值较周末或节假日小，而且在前后相邻的时间段内，速度值之间是有一定的联系的。基于此，本文提出了基于马尔可夫改进的指数平滑方法来预测路段平均速度，然后计算路段的行程时间。

4.2 基于速度的路段行程时间预测方法

4.2.1 路段行程时间与速度的关系

下图 4.2 所示为两个路段 1 和路段 2，若以 l_1 表示路段 1 的长度，则在某一时间段该路段的行程时间与平均速度之间的关系可以表示为：

$$t_1 = l_1 / \bar{v}_1 \quad (4-1)$$

式中 t_1 表示路段 1 的行程时间， \bar{v}_1 表示车辆在路段 1 上的空间平均速度。因而该路径上的行程时间可以表示为：

$$T = \sum_{i=0}^2 t_i = t_1 + t_2 \quad (4-2)$$

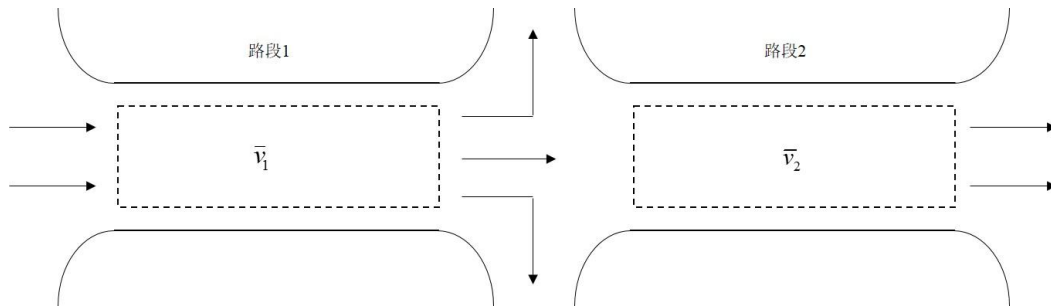


图4.2 路径示意图

鉴于救护车辆具有优先通行权，因此本文将忽略车辆通过交叉路口的时间，因此从以上两式可以看出，要估计路径的行程时间，只需要得到车辆在每一路段的通行时间，其代数和即为路径上的行程时间。而对于路段行程时间的估计，考虑到路段长度是一个固定值，因此对于路段行程时间的估计关键在于对路段的空间平均速度的估计。

事实上,对于空间的平均速度可以通过路口监测设备的监测数据直接替换或者根据实时监测速度与平均速度之间的数量关系进行转化,为了计算结果的准确性和可靠性,本文采用第二种方式 Wardrop 速度方法^[65]来推导计算。Wardrop 推导的地点速度与路段的平均速度之间的关系可以表示如下:

$$\bar{v}_t = \bar{v}_s + \frac{\sigma_s^2}{v_s} \quad (4-3)$$

式中: \bar{v}_t ——地点速度;

\bar{v}_s ——路段空间的平均速度;

σ_s ——路段空间的平均速度观测值数据的标准差。

有不少学者针对上式进行修正后,可以用于工程实践, Rahha 和 Zhang^[65]通过实际数据验证了这一修正算法的可行性:

$$\bar{v}_s = \bar{v}_t - \frac{\sigma_t^2}{\bar{v}_t} \quad (4-4)$$

式中: σ_t ——地点速度的测量值的标准差。实验结果说明了当 $\sigma_t^2 < 0.2$ 时方法的有效性较强、精度也较高。

基于以上分析,要得到行程时间的估计值,只需要通过监测设备的历史数据得到路段的地点速度的估计值即可,而通过文献分析可知可以用于地点速度预测的常用方法有移动平均法(Moving Average Method)、时间序列法(Time Series Method)、指数平滑法(Exponential Smoothing Method)、卡尔曼滤波法(Kalman Filtering Method)、BP 神经网络预测法(BP Neural Network Model)、参数回归法(Parametric Regressive Model)、交通模拟法(Traffic Simulation Model)等^[65],而本文采用二次指数平滑法,并基于马尔可夫改进二次指数平滑法来估计和预测路段的地点速度值,进而推导得到路段的行程时间。

4.2.2 预测方法和原理

(1) 指数平滑法

指数平滑法(Exponential Smoothing, ES)是比较常用的预测方法,它能够通过平滑系数的改变使预测值中反映较多的临近观测值的信息,具有在预测中所需要的历史数据量较少和计算量相对小的优点,对观测值的稳定性和规律性能很好地反映,在经济、统计等领域都得到了广泛的应用^[66]。其基本思想是:用相近的历史观测数据的加权平均来表示预测值,而且对不同时期的历史数据赋予不同的权值,通过对历史数

据赋不同的权重来控制历史数据对预测数据的影响。设时间序列为 $y_1, y_2, \dots, y_t, \dots (t=1, 2, \dots, n)$ ，则二次指数平滑法预测算法为：

$$\hat{y}_{t+m} = a_t + b_t m \quad (4-5)$$

$$a_t = S'_t + (S'_t - S''_t) = 2S'_t - S''_t \quad (4-6)$$

$$b_t = \frac{\alpha}{1-\alpha} (S'_t - S''_t) \quad (4-7)$$

$$S'_t = \alpha y_t + (1-\alpha) S'_{t-1} \quad (4-8)$$

$$S''_t = \alpha S'_t + (1-\alpha) S''_{t-1} \quad (4-9)$$

式中： S'_t ——一次指数平滑值；

S''_t ——二次指数平滑值；

m ——预测期数；

α ——平滑系数。

参数的确定方法为：

- ① α 可以由黄金分割系数确定；
- ② 取 $S'_t, S''_t = y_1$ 作为 S'_t, S''_t 的初始值；
- ③ 取 $m=1$ ，预测数值 \hat{y}_t 作为观测数值 y_t 进行滚动预测。

指数平滑法具有预测结果比较稳定，拟合程度较好的优点，但是预测数值和观测数值之间的误差是存在的，因此，对于误差的修正也是必须加以考虑的，本文运用马尔可夫链的理论来修正这种误差值。

(2) 马尔可夫链

马尔可夫过程也叫马氏过程，是由著名的前苏联数学家马尔可夫在 1906 年首先定义的具有无后效性的一类随机过程，其中无后效性也被称作马氏性，即在给定随机序列当前的知识和信息的情况下，过去（当前情况以前的历史状态）对于预测随机序列未来（当前情况以后的状态信息）的状态是无关的，可以简单表述为：系统未来的状态只受到当前状态的影响而与过去的状态无关^[68]。马尔可夫过程的数学定义表示如下：

定义 1 设随机过程为 $\{X(t), t \in T\}$ 对应于一组有限的时间序列 $\{t_1 < t_2 < \dots < t_n\} \in T$ ， $(X(t_1), X(t_2), \dots, X(t_n))$ 对应的状态空间为 $\{s_1, s_2, \dots, s_n\} \in S$ ，且满足下式：

$$p\{X(t_n) \leq s_n | X(t_{n-1}), \dots, X(t_1)\} = p\{X(t_n) \leq s_n | X(t_{n-1})\} \quad (4-10)$$

定义 2 设随机过程 $\{X(n), n \in T\}$ ，对于任意的 $n \in T$ 和任意的 $\{s_1, s_2, \dots, s_n\} \in S$ ，满足下式：

$$p(X_{n+1} = s | X_1 = s_1, X_2 = s_2, \dots, X_n = s_n) = p(X_{n+1} = s | X_n = s_n) \quad (4-11)$$

则随机过程 $\{X(n), n \in T\}$ 是马尔可夫链，简称马氏链。

从以上定义中可以看出马尔可夫链的统计学特性完全是由条件概率 $p(X_n = j | X_{n-1} = i)$ 来决定，该条件概率称作为一步转移概率，记为 p_{ij} ：它表示系统在 $n-1$ 时刻系统所处的状态为 i ，而在 n 时刻系统处于状态 j 的概率，即 $p_{ij} = p(X_n = j | X_{n-1} = i)$ ，它满足：

$$\begin{cases} 0 \leq p_{ij} \leq 1 \\ \sum_j p_{ij} = 1 \end{cases} \quad (4-12)$$

一般地，经过 k 步变化的转移概率称为 k 步转移概率，记为 $p(k)$ ，同时一步转移概率组成的矩阵称为一步转移概率矩阵，而由 k 步转移概率组成的矩阵称为 k 步转移概率矩阵，可以记为：

$$P(k) = \begin{bmatrix} p_{11}(k) & p_{12}(k) & \cdots & p_{1N}(k) \\ p_{21}(k) & p_{22}(k) & \cdots & p_{2N}(k) \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ p_{N1}(k) & p_{N2}(k) & \cdots & p_{NN}(k) \end{bmatrix} \quad (4-13)$$

Chapman-Kolmogorov 方程（简称 C-K 方程）给出了由一步转移概率确定 k 步转移概率的方法： $P(k) = P^k$ 。

定义 3 稳态概率定义为

$$\begin{aligned} \pi_j &= \lim_{\pi \rightarrow \infty} P\{X(t=n) = j | X(t=0) = i\} \\ &= \lim_{\pi \rightarrow \infty} P\{X(t=n) = j\} \end{aligned} \quad (4-14)$$

其中 $i=1, 2, \dots, m$ ，计算公式为：

$$\begin{cases} \pi_j = \sum_{i=1}^m \pi_i p_{ij} \\ \sum_{j=1}^m \pi_j = 1 \end{cases} \quad (4-15)$$

(3) 基于马尔可夫改进的指数平滑预测方法

速度参数的相关特性说明, 速度预测不仅仅和历史趋势相关而且和现在时刻的速度相关, 因此, 在基于马尔可夫改进的指数平滑预测方法在对速度进行估计时, 通过指数平滑方法来对速度参数中稳定性的、规律性的趋势, 而对速度预测中当前时间段对未来时间段的影响用马尔可夫链来表现, 其具体计算步骤为:

Step 1: 利用历史数据, 根据式 (4-5) 到式 (4-9), 对速度进行预测得到历史趋势部分的预测值:

$$\hat{v}'_{t+1} = \hat{y}_{t+1} = a_t + b_t \quad (4-16)$$

Step 2: 速度区间的划分, 对历史数据进行整理, 划分为 n_r 个状态区间, 划分的方式如下式所示:

$$R_r = [R_{1r}, R_{2r}], \quad r = 1, 2, \dots, n_r \quad (4-17)$$

Step 3: 速度区间的状态转移概率计算。在马尔可夫链中, 速度由状态 R_r 转移到状态 $R_{r'}$ 的一步转移概率可以通过数理统计学角度的极限概率来得到——通过统计各状态之间发生转变的数量规律来显现, 即由 $P_{rr'}(k) = M_{rr'}(k) / M_r$; $r = 1, 2, \dots, n_r$ 表示, 其中 M_r 表示样本中处于状态 R_r 的数据的数量, $M_{rr'}(k)$ 表示样本中处于状态 R_r 经由 k 步转变成为状态 $R_{r'}$ 的样本数量。这样即可得到速度区间的一步状态转移概率矩阵。

Step 4: 速度中当前时刻速度对未来时刻速度的影响部分的计算。在确定当前速度状态的情况下, 计算未来速度的区间与概率。

$$\hat{v}''_{t+1} = \sum_{i'=1}^{n_r} \alpha_{i'} \frac{R_{1i'} + R_{2i'}}{2} \quad (4-18)$$

Step 5: 速度的预测值。

$$\hat{v}_{t+1} = (1 - \gamma) \hat{v}'_{t+1} + \gamma \hat{v}''_{t+1} \quad (4-19)$$

式中 γ 为历史速度调节因子。

Step 6: 路段行程时间的估计。

$$\hat{T}_{j'} = l_{j'} / \hat{v}_{t+1} = l_{j'} / (\bar{v}_t - \sigma_t^2 / \bar{v}_{t+1}) \quad (4-20)$$

Step 7: 对于拥有 $n_{j'}$ 个路段的路径，其行程时间由下式计算。

$$T = \sum_{j'=1}^{n_{j'}} \hat{T}_{j'} \quad (4-21)$$

4.3 算例分析

上月 21 日，晚间 8 时许，在某市市中心区域某商场，10 多人组织、策划并实施了一起暴力恐怖袭击事件：一伙暴徒手持长刀等武器，从商场入口处，一路持刀见人狂砍，惊慌失措中路人纷纷被砍倒，多人倒在血泊中生命危在旦夕，更多的人群由于惊慌失控，四散逃跑，又引发了严重的踩踏事故的发生，造成了更多的人员伤亡。接到警讯后，各部门迅速合作，启动应急机制：公安机关各有关部门迅速配合组织执勤干警赶赴现场处置警情，并迅速将现场情况通报指挥中心，政府各有关部门迅速组织医疗救护力量到达现场，要求相关医院做好接收伤病人员的准备工作，同时要求社会各界提供帮助积极参与救治伤员的工作。大约晚间 8 时 20 分左右，紧急医护处理小组到达现场，开展医疗救护工作。已知，事件发生地点域内共有 6 家医院可以提供相应的应急医疗服务，事件发生地点与这 6 家医院的路网结构如下图 4.3 所示。可以通过路网交通信息网站查阅得到近几天相同时刻，各路段入口处测速设备观测的速度值，如下表 4.2 所示。在将伤员送诊时，必须考虑时间因素，因此采用本章给出的方法对事件发生地点与各医院之间的送诊时间做出估计，以速度处理时间间隔为 30 分钟，取 $\alpha, \gamma=0.618$ 。

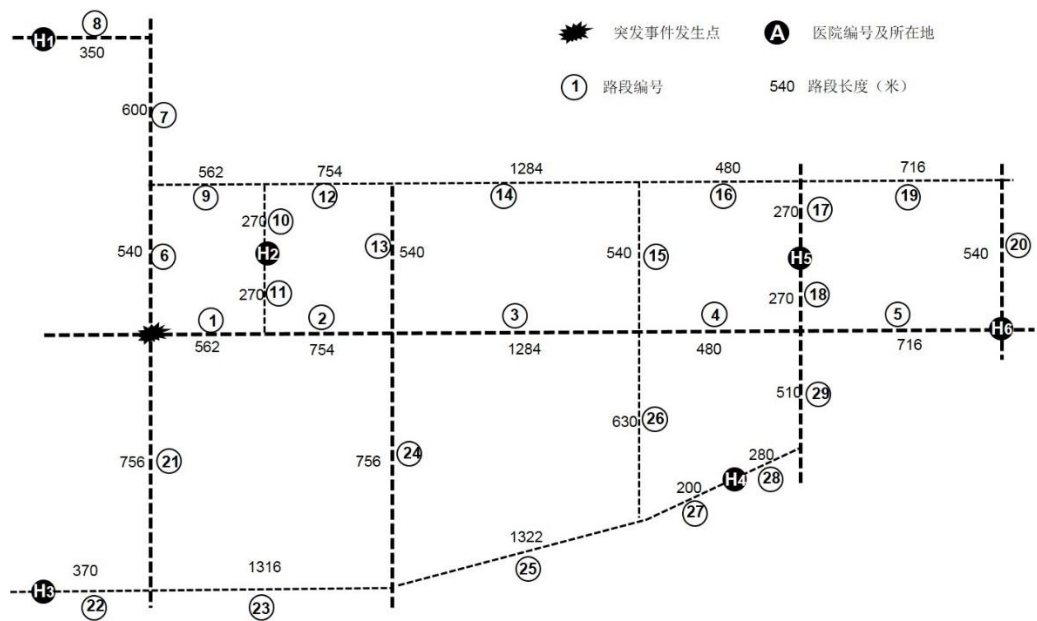


图4.3 事件发生地点与六家医院间的路网结构图

表4.2 路段历史速度观测值

路 段	速度观测值					
	16 日	17 日	18 日	19 日	20 日	21 日
1	19.90	22.09	19.56	21.02	20.79	22.30
2	20.89	22.83	23.50	22.84	21.69	22.00
3	21.06	22.11	24.97	23.33	22.24	22.35
4	22.82	21.10	23.57	22.01	23.70	23.10
5	23.15	21.33	24.50	22.89	21.97	20.00
6	25.09	23.26	22.91	23.69	24.63	23.88
7	19.27	22.40	20.83	23.04	22.56	23.23
8	22.02	21.27	19.29	22.18	23.97	24.07
9	21.25	20.90	19.19	22.34	19.65	20.00
10	20.68	21.01	19.35	20.64	22.42	23.67
11	20.40	22.29	23.67	19.10	24.61	24.55
12	21.70	19.68	24.03	23.01	22.67	22.89
13	20.43	22.17	22.67	21.20	20.87	21.40
14	21.93	19.30	22.74	21.24	23.56	24.00
15	21.70	22.89	22.00	20.50	22.04	23.11

16	23.53	21.83	20.59	22.52	23	23.33
17	23.90	21.48	21.05	22.79	23.61	24.00
18	19.30	21.02	19.61	20.41	21.86	21.33
19	23.13	23.61	25.12	22.43	23.32	23.35
20	22.50	23.15	24.03	21.32	22.02	22.45
21	24.58	25.34	25.10	23.01	23.01	22.65
22	26.02	25.86	24.25	25.30	24.26	23.00
23	21.31	23.93	20.10	22.10	21.73	23.10
24	24.28	22.50	23.19	23.45	22.50	22.89
25	19.32	20.76	23.14	22.75	24.41	24.21
26	25.93	25.89	23.02	24.09	25.62	25.00
27	22.23	21.64	24.51	20.20	20.69	22.23
28	19.00	21.08	20.20	20.16	20.39	21.99
29	20.41	21.93	19.26	21.74	22.55	24.00

具体计算步骤如下：第一步，根据式（4-5）至式（4-9）运用二次指数平滑法预测下一时段各路段的速度预测值，如下表所示：

表4.3 指数平滑法速度预测值

路段	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
预测值	21.07	21.05	21.70	24.59	21.04	25.37	23.88	26.49	19.01	24.13
路段	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
预测值	26.65	23.14	20.15	25.23	22.01	23.86	24.80	23.39	22.81	21.09
路段	21	22	23	24	25	26	27	28	29	
预测值	21.50	23.44	21.81	21.83	26.89	26.32	19.00	20.64	24.21	

第二步，速度区间的划分，通过前5天的历史数据发现，速度参数的区间范围为[19,27]，平均值为22.25，标准差为1.67，因此，对速度状态划分如下：

状态一， $v \geq \bar{v} + 1.0\delta$ ，对应的速度取值范围为(23.92, 27]；

状态二， $\bar{v} + 0.5\delta \leq v \leq \bar{v} + 1.0\delta$ ，对应的速度取值范围为(23.09, 23.92]；

状态三， $\bar{v} - 0.5\delta \leq v \leq \bar{v} + 0.5\delta$ ，对应的速度取值范围为(21.41, 23.09]；

状态四， $\bar{v} - 1.0\delta \leq v \leq \bar{v} - 0.5\delta$ ，对应的速度取值范围为(20.58, 21.41]；

状态五， $v \leq \bar{v} - 1.0\delta$ ，对应的速度取值范围为[19, 20.58]。

第三步，统计确定状态间的转移概率。

$$P(1) = \begin{bmatrix} 0.17 & 0.09 & 0.17 & 0.22 & 0.35 \\ 0.19 & 0.25 & 0.31 & 0.12 & 0.13 \\ 0.19 & 0.17 & 0.32 & 0.17 & 0.15 \\ 0.28 & 0.04 & 0.40 & 0.20 & 0.08 \\ 0.06 & 0.10 & 0.33 & 0.16 & 0.35 \end{bmatrix}$$

第四步，根据式（4-18）至（4-21）计算确定下一时间段内各路段的速度预测值，结果如下表 4.4 所示。

表4.4 各路段在下一时间段内的速度预测值

路段	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
预测值	22.11	21.94	22.19	23.42	21.94	23.14	23.02	23.57	20.56	23.12
路段	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
预测值	23.63	22.74	21.76	23.67	22.31	23.01	23.50	22.83	22.74	21.96
路段	21	22	23	24	25	26	27	28	29	
预测值	22.11	22.41	22.23	22.24	23.72	23.51	21.32	21.18	23.15	

运用指数平滑法和本文基于马尔可夫改进的指数平滑法所得到的速度参数的预测值与实际观测数值比较关系的折线图如下图 4.4 所示，由图可以看到基于马尔可夫改进的指数平滑法的预测值与实际值较为接近，这也说明了本文基于马尔可夫改进的指数平滑法在速度参数预测中是有效的，而且预测结果较好。

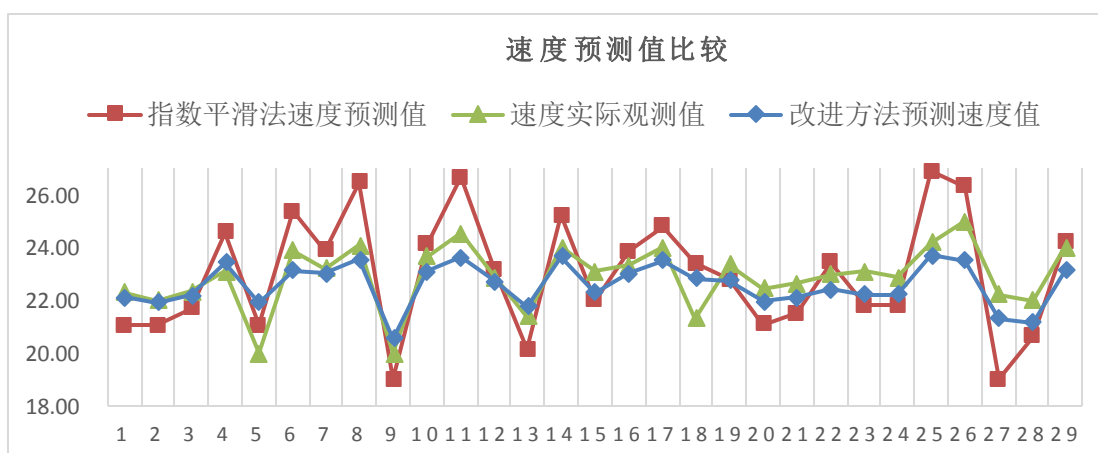


图4.4 各路段不同方法速度预测值与实际观测值的比较

第五步，由式（4-20）计算路段行程时间的预测值，结果如下表 4.5 所示。

表4.5 路段平均行程时间预测值（单位：分钟）

路段	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
时间	1.53	2.06	3.48	1.23	1.96	1.40	1.57	0.89	1.64	0.70
路段	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
时间	0.69	1.99	1.49	3.26	1.45	1.25	0.69	0.71	1.89	1.48
路段	21	22	23	24	25	26	27	28	29	
时间	2.05	0.99	3.56	2.04	3.35	1.61	0.56	0.79	1.32	

第六步，遍历得到突发事件发生地点到各医院之间的最短行程时间和路线，结果如下表 4.6 所示。

表4.6 最短行程时间以及路线

医院编号	最短时间（分钟）	最短时间路径
H_1	3.86	6→7→8
H_2	2.22	1→11
H_3	3.04	21→22
H_4	9.24	1→2→3→26→27
H_5	9.01	1→2→3→4→18
H_6	10.26	1→2→3→4→5

算例结果提供了送诊的最短时间，同时，也为路径选择提供了依据，据此，救护车可以选择行程时间最短的路线输送伤员，事件发生地点与 6 家医院之间的最短行程时间的路径如上表 4.6 中所示。

4.4 本章小结

本章以应急医疗救援中的及时响应目标为主要考虑对象，对影响及时性的主要因素——送诊时间进行了分析，主要考察了城市环境下交通拥堵对救护车辆的行程时间的影响，给出了一种考虑交通拥堵的救护车辆行程时间估计的方法。本章中，首先分析了城市交通拥堵的一般特性，考虑到速度参数易于获取、对交通参数表征性强等特点，选取速度参数作为城市交通拥堵测度的基本参数，通过分析了解到速度参数具有历史趋势性强和随机性变动的特性，给出了基于马尔可夫改进的指数平滑法来对速度

参数进行估计来分别反映速度参数的随机性和历史性特点，结合路网的距离特征，即可做出对行程时间的估计。在对路段行程时间做出估计之后，即可得打路径的行程时间值，这亦是进行路径选择的依据。最后，以暴力恐怖袭击事件为背景，对本章提出的考虑交通拥堵的应急医疗救援中的送诊时间估计方法进行了潜在应用的分析，通过具体的分析计算，明确了事件发生地点前往各医院的最短时间以及最短时间路径。

第五章 应急医疗中医疗效用评价方法

效用理论认为,效用是指消费者通过消费商品或者服务使自己的需求和欲望得到满足的程度的度量^[69],它包含两方面的内容:一是消费者对商品或者服务的消费欲望,即需求;二是商品或服务具有能满足该种消费者需求的能力,即供应。应急医疗服务可看做是一种特殊的商品,也因此必然具备商品的基本属性——满足伤员的应急医疗需求的能力。同时,应急医疗服务作为一种公共产品,服务的对象和性质都是特殊的群体,由于总量的限制,公众有权利共享有限的医疗资源,因此,在应急医疗服务中必须保证医疗服务为公众公平地共享的本质属性,必须保证有限的医疗资源得到合理的利用,高效率地为公众服务。因此,运用经济学效用理论分析以及配置医疗资源的利用状况是合理的、行之有效的。基于此,本章将关注医疗资源的公共属性并运用效用理论来对医疗资源的效果——医疗效用来进行评价,在评价方法中:首先,分析伤员的医疗需求,通过伤员的伤情鉴定来区别伤员的医疗服务需求;然后,对医院等医疗机构的应急医疗服务能力做出评价;最后,结合效用理论,给出不同医疗需求与应急医疗服务能力下的医疗效用评价方法。

5.1 应急医疗中伤员病情危重程度与医疗需求分析

5.1.1 伤员病情危重程度识别

病情危重程度反映着伤员的伤势与病情的严重危急程度,同时也反映着伤员的生命健康的状况,病情危重程度可以通过一些重要的个体体征和生理参数以及医学症状等指标的赋值或加权平均表征,从而得到评价疾病或伤情严重程度的量化参数^[70]。在应急医疗救援中,利用一定的医学设备对伤员的主要症状和体征进行识别和判断,在现场或者院前的快速医疗诊断中即可获得伤员伤势的准确信息,对伤员伤势的轻重缓急程度等做出较为明晰的判断,目的在于为选择有效可用的医院提供依据。

在应急医疗救援中,面临着伤员伤势与病情危重程度不一、病情种类不尽相同、变化情况未知等复杂情况的挑战,极大地考验着应急医疗救援组织实施中的精细化管理和统一组织协调能力,也在检验着医疗资源利用的均衡性以及伤员救治的成功与否。因此,高效可行的病情识别方法对于应急医疗救援特别是分诊的实施具有重要的作用:一是可以客观地制定和实施针对性强的医疗救治方案,为提高医疗资源的使用效率和医疗质量乃至选择治疗的时间和确定最佳的出院时间等提供了科学合理而且客观的依据;二是在应急医疗救援中,通过对伤情的鉴定将伤员进行合理的分类,进而送往具有不同医疗资质的医疗机构进行救治是各国通行的做法也是可行的做法,只有这样

才能保证将伤情严重的患者分配到比较优质的医院接受治疗,同时保证伤势较轻的患者也得到照顾,这是保证治疗效果以及医疗资源利用效率的方式。

通常,对于伤员的伤势和病情危重程度的鉴定,依赖于患者的描述以及急诊医师的直觉经验判断是一种常用的方式,但是常常出现对病情判断的主观性较强、比较模糊而且缺乏可比性等等不良情形的出现,造成误诊、误治甚至对伤员生命造成危害的情况。自上世纪 70 年代以来,国内外从事病理学与医疗服务相关研究的专家学者提出了很多的鉴定伤情的评分方式,主要分为两类:特异性评分系统和非特异性评分系统^[71]。特异性评分系统是针对特殊类型疾病严重程度或预后的评分方法^[72],主要包括多器官功能障碍综合征评分(Multiple Organ Dysfunction Score, MODS)、急性呼吸窘迫综合征评分(Acute Respiratory Distress Syndrome, ARDS)、弥漫性血管内凝血评分(Disseminated Intravascular Coagulation Score, DIC)、格拉斯哥昏迷程度评分(The degree of Glasgow Coma Score, GCS)、中毒严重程度评分(The Poisoning Severity Score, PSS)、创伤指数(Trauma Index, TI)等;非特异性评分系统是具对一般性疾病的危重程度和预后的综合评分系统^[72],主要有急性生理和慢性健康评分系统(Acute Physiology and Chronic Health Evaluation, APACHE)、简明急性生理评分(Simplified Acute Physiology Score, SAPS)、早期预警评分(Early Warning Score, EWS)等。在过去 30 多年的医学实践中不断修正和发展,已经取得了较好的临床效果,对各种病情的鉴别越来越准确和高效,在国内外的医疗实践和相关研究中得到了许多学者和临床医学工作者的青睐和重视。

表5.1 MEWS 评分量表与标准

项目	分值						
	3	2	1	0	1	2	3
心率(次/分)		≤40	41~50	51~100	100~110	111~129	≥130
收缩压(mmHg)	≤70	71~80	81~100	101~199		≥200	
呼吸(次/分)		<9		9~14	15~20	21~29	≥30
体温		<35.0		35.0~38.4		≥38.5	
意识				清楚	对声音有反应	对疼痛有反应	无反应

本文采用 Morgan 等于 1997 年提出了早期预警评分^[73](Early Warning Score, EWS)系统作为病情危重程度鉴定的方法。该系统通过对患者心率、收缩压、呼吸频率、体温和意识等 5 个方面的内容进行评分,每一项 0~3 分,总分为 0~15 分,分数越高,说明病人的病情越严重。EWS 具有简单易行,可以在伤员旁边快速获取参数和进行

评分的特点，只需要很短的时间就可以完成综合病情危重程度的评分，其优点在急诊患者的分诊中尤为突出：它所需资料简单易得，为医疗救护中判别伤员的伤势和病情的危急严重程度提供了科学的、客观的依据，可以防止医护人员年龄、经验等不足造成的误诊、误治等的发生，可行性强。Subbe^[74]等在 2001 年提出了 EWS 的改进版本（Modified Early Warning Score, MEWS），见上表 5.1 所示。

魏刚^[75]等的研究表明 MEWS 评分系统对于病情严重程度具有最佳截断点，对于 MEWS 评分小于 5 分的患者，大多都不需要住院治疗，对于 MEWS 评分大于 5 分的患者，病情较为严重，需要收治专科病房乃至 ICU 病房治疗。基于此，本文中用 S_{MEWS} 表示 MEWS 对伤员的伤情的评分值，将伤员的病情危重程度的状态进行如下划分：当 $S_{MEWS} \leq 5$ 时，病人为轻伤，病死率为 2%；当 $5 < S_{MEWS} \leq 9$ 时，伤情为中伤，病死率为 7%；当 $9 < S_{MEWS} \leq 15$ 时，伤情为重伤，病死率为 30%。

5.1.2 伤员伤势恶化程度分析

由于病理的复杂性、多变性等特性，在突发事件中的伤员其伤势和病情危重程度是随时发生变化的，这种变化往往与伤员接收医疗服务的时间是相关的，因此，在应急医疗救援中必须考虑到送诊时间对伤员伤势和病情的影响，这种影响具有的特点主要表现在：送诊时间较短时，伤势恶化的趋势较小，送诊过程的时间越长，伤势恶化趋势越严重。

在应急医疗分诊问题中需要综合考虑的伤员到达医院时的伤情情况，并以此来决定伤员的应急医疗需求。因此，本文中设定伤员伤势的恶化函数^[76]为：

$$\varphi_{(t)} = \frac{A^2}{9A^2 - 9t^2} \quad (5-1)$$

式中 A 为常数，当取 $A = 20$ 时其函数图像如下图 5.1 所示。

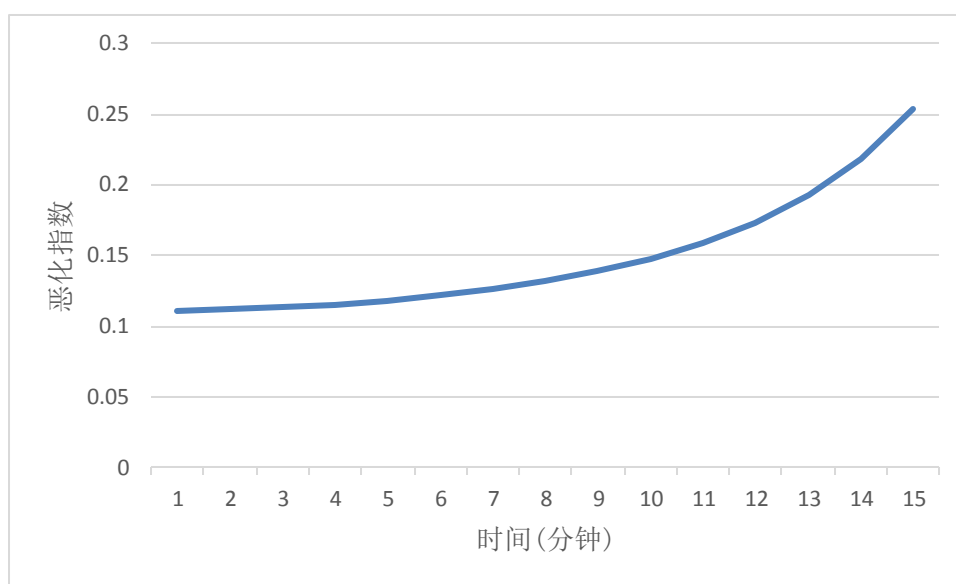


图5.1 恶化指数函数

那么，在将伤员送往某一所医院进行诊治时，伤员到达医院时的伤情情况可以表示为：

$$D = (1 + \varphi_{(t)}) \times S_{MEWS} \quad (5-2)$$

式中 D 表示伤员的伤情严重程度的情况。

5.1.3 伤员应急医疗服务需求分析

对于突发事件中的伤员而言，其需求本质上说是特定伤情情况下，对应急医疗服务的渴求和欲望，而这种需求必然是与伤员的伤势和病情的严重程度相关的，本文中用 Q 表示伤员对应急医疗服务的需求，则 Q 与伤员的伤情严重程度 D 之间的关系可以表示如下：

$$Q = Q(D) \quad (5-3)$$

常见的需求函数主要有线性需求函数、二次需求函数以及指数需求函数^[77]，而在应急医疗服务中，考虑到应急医疗服务需求是伤势与病情严重程度的单调增函数，即：病情越严重、越紧急，对医疗服务需求的紧迫性要求越大；而病情相对轻一些时，对医疗服务的需求紧迫程度相对小一些，因此，这里设定应急医疗服务需求与伤情危重程度之间的关系表示如下：

$$Q = a \cdot e^{-b/D} \quad (a > 0, b > 0) \quad (5-4)$$

式中： a, b 为常数系数。根据上式就可以在确定伤员的伤情严重程度时，得到伤员对医疗服务的需求状况。例如，在上式（5-4）中分别取 $a = 2.0, b = 5.0$ 时，在不考虑恶化函数的情况下，不同伤情情况下的应急医疗服务需求可以分别表示如下表5.2所示。

表5.2 伤员不同伤情下的应急医疗服务需求

病情严重程度	1	2	3	4	5	6	7	8
医疗服务需求	0.01	0.16	0.38	0.57	0.74	0.87	0.98	1.07
病情严重程度	9	10	11	12	13	14	15	
医疗服务需求	1.15	1.21	1.27	1.32	1.36	1.40	1.43	

5.2 医院应急医疗服务能力评价方法

5.2.1 决策问题描述

应急医疗系统中，参与应急医疗救援的各医院的医疗救护能力具有差异性，治疗各种伤病伤员的能力也有不同，因此，在应急医疗救护中必须对医院的医疗服务能力进行科学的分析，从而为实际的送诊提供依据，本文采用多属性评价方法来对医院的应急医疗服务能力进行评价。

下面的符号标记评价医院应急救援能力中涉及的相关变量和集合。

$I = \{I_1, I_2, \dots, I_m\}$ ：表示包含 m 个指标的评价指标体系，其中 I_j 表示第 j 个指标。

$W = (w_1, w_2, \dots, w_m)^T$ ：表示各指标的权重向量，其中 w_j 表示第 j 项指标的权重。

$E = \{E_1, E_2, \dots, E_n\}$ ：表示 n 个专家的集合，其中 E_i 表示第 i 个专家。

$W' = (w'_1, w'_2, \dots, w'_n)^T$ ：表示专家的权重向量，其中 w'_k 表示第 k 个专家的权重，满足 $w'_1 + w'_2 + \dots + w'_n = 1.0$ 。

$r_{ij} (r_{ij} \in [1, 10])$ ：表示第 i 个专家对医院应急医疗服务能力评价指标体系中第 j 个指标的评价信息，则可以构建多属性决策矩阵 R ：

$$R = \begin{bmatrix} r_{ij} \end{bmatrix}_{n \times m} = \begin{matrix} E_1 \\ E_2 \\ \vdots \\ E_n \end{matrix} \begin{bmatrix} I_1 & I_2 & \cdots & I_m \\ \left[\begin{matrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1m} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2m} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ r_{n1} & r_{n2} & \cdots & r_{nm} \end{matrix} \right] \end{bmatrix} \quad (i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m)$$

v_i : 表示单个专家对医院的应急医疗服务能力的评价值。

V : 表示所有专家对医院应急医疗服务能力的综合评价指数。

下面将首先阐述医院应急医疗服务能力评价的指标体系选取的方法,然后给出医院应急医疗服务能力评价的方法。

5.2.2 医院应急医疗服务能力评价指标体系

一、医院应急医疗服务能力评价指标体系构建原则

在对医院应急医疗能力进行评价时,需要选用科学合理的评价指标体系,在选取指标体系时必须遵循以下基本原则:

(1) 系统性和全面性原则。选取指标体系时首先应当全面客观地分析反映医院应急医疗能力的各个方面和综合能力的指标,然后进行分类整理,从中找到那些最能反映医院应急能力的主要指标,去掉次要的以及相关性强的指标,才能综合反映医院的应急医疗服务能力。

(2) 定量和定性分析相结合原则。在选取指标体系时,定性指标能用于反映评价体系中理论性的、结构化的内容,而定量指标可以用于反映评价体系中客观科学性强的信息,因此,需要将两方面的指标相结合,完整体现医院应急医疗服务的能力。

(3) 科学性和适用性原则。指标体系的选取要能够客观准确地拟合评价对象的各有关性质和实际情况,针对某一具体问题选用的指标要因地制宜、合理适用。

(4) 可行性和简易性原则。指标体系的层级结构要合理,过于复杂和庞杂的指标体系在应用时可行性差,无法快速有效地解决问题,因此,在保证指标体系的全面客观的基础之上,可行性和简易性也很重要。

二、医院应急医疗服务能力评价指标体系的构建

医院应急医疗服务能力是指医院在突发事件发生后,在伤员伤亡最小和缓解病患痛苦目标指导下,在快速反应、救援保障、救援技术以及组织管理和协调等各方面为高效有序地展开应急救援行动所具备的能力和所做的工作。本文在综合运用情报研究、系统分析、专家访谈等方法,通过对相关医院医护人员、应急协调组织管理者、政府有关部门代表、市民代表等的大量访谈和调查基础之上,参考有关文献^{[78][79]},最后综合选取快速反应、救援保障、救援技术以及组织管理和协调四个方面为准则层目标,经过反复调整和改良,最终确立医院应急医疗救援能力评价指标体系,具体如下:

(1) 组织管理,包括组织建设、指挥决策、预案规章和培训演练四个方面。组织建设是指医院的应急医疗服务指导机构的组成,以及为不同规模突发事件组成的医疗救援队伍和保障人员。指挥决策是指参与决策的人员的专业素质,包括对应急管理理论和实践方法的掌握程度、救援现场的控制协调以及参与特重大应急医疗救援方面的经验等。预案规章是指突发事件的监测、预警、评估机制,应急预案与救援方案管

理等。培训演练是指医院的医疗应急培训、演练以及医院与指挥系统之间、医院与医院之间的协同合作情况。

(2) 快速反应，包括反映速度、运输转送和院内处置。反应速度主要是指医院在接受到应急处置领导机构的指令后迅速启动应急机制以及组建应急医疗救援队伍前往突发事件发生地点，开展救援行动的速度。运输转送是指可以参与应急救援行动的救援车辆数量以及救援相关器材的状况。院内处置是指医院在相对较短的时间内接受了大批量的伤员的能力以及在医院内部的救援和分诊流程等是否合理的情况描述。

(3) 救援技术，包括的指标有：人员素质、知识技能和专业救援。人员素质是指参与应急救援的医护人员的基本素质，如年龄、学历、专业、职称、健康状况、参与救援经验等的基本情况。知识技能是指医护人员的医学急救基本理论知识、实践运用能力以及操作医疗设备和设施的技能情况。专业救援是指需要在野外进行的搜救、营救行动，现场处置大批量的伤员的能力。

(4) 救援保障，包括的指标有：物资储备、信息通讯、经费投入、防护防疫。物资储备是指医疗药品和医疗耗材等救援设备和物品的库存状况。信息通讯是指应急指挥中心、突发事件现场、医疗救援单位之间的联系、通信、沟通协作机制、移动端对端，以及现代管理信息系统在应急医疗中的应用。经费投入是指与应急医疗相关活动的投入经费和准备金。防疫防护是指在处置突发事件时在医院以及社会上的传染病、次生疾病的卫生防护以及日常性的卫生保障工作。

医院应急医疗能力评价指标体系以及评估方法具体可以表示如下表 5.3 所示。

表5.3 医院应急医疗服务能力评估指标体系与评估方法

目标层	一级指标	二级指标	评估方法
应急救援能力	组织管理	组织建设 I_1	查阅救援队伍人员名单、人员结构相关记录
		指挥决策 I_2	查阅动员部署、现场协调、控制文件记录以及党委专题会议记录
		预案制度 I_3	查看规章、流程、总结以及询问相关人员对各种文件的掌握情况
		培训演练 I_4	查阅计划、总结以及训练视频等数据
	快速反应	反应速度 I_5	实地模拟以及查看历史数据
		运输转送 I_6	查看救援车辆位置、器材性能、处置流程图等
		院内处置 I_7	查看院内处置流程图，查看以往医院接治批量伤员工作记录与总结文件
	救援技术	人员素质 I_8	查看人员结构、个人基本信息以及对医学常识的掌握情况
		知识技能 I_9	询问救援队伍应急救援理论以及器材使用技能
		专业救援 I_{10}	查阅救援实践文件数据以及演练考核情况
	救援保障	物资储备 I_{11}	查阅药品清单以及相关器材情况
		信息通讯 I_{12}	查看计算机后台、救援相关图书资料；试用远程医疗系统和通讯联络设备
		经费投入 I_{13}	听取经费投入、使用情况汇报以及使用情况记录
		防护防疫 I_{14}	检查检水检疫设备，查看卫生工作条例以及相关工作记录

5.2.3 医院应急医疗服务能力评价方法

在前一部分中，论文构建了医院应急医疗服务能力评价的指标体系，这一部分将给出应急医疗服务评价的方法。首先，运用德尔菲法经过专家团队的一致讨论后确定本文中应急医疗服务能力评价的各指标的权重向量为 $W = (0.09, 0.12, 0.06, 0.1, 0.17, 0.06, 0.07, 0.07, 0.03, 0.07, 0.05, 0.06, 0.02, 0.03)^T$ 。其次，在构建医院应急能力评价矩阵时，获取各指标的评价信息时采用的量表如下表 5.4 所示。

表5.4 指标评分准则

指标描述	很差 (很低)	差 (低)	一般	好 (高)	很好 (很高)
正向指标	1	3	5	7	9
逆向指标	9	7	5	3	1
备注	2, 4, 6, 8 分别表示介于指标描述之间的评价信息				

那么，医院的应急救援能力评价指数可以由下式（5-5）和式（5-6）计算得到：

Step1：计算单个专家的评价信息：

$$v_i = \sum_{j=1}^m w_j r_{ij} \quad (5-5)$$

Step2：集结所有专家评价信息得到医院的应急医疗服务综合能力指数计算方法：

$$V = \sum_{i=1}^n w'_i v_i \quad (5-6)$$

据此，即可对医院的应急医疗服务能力进行评价，得到相应的综合评价指数。

5.3 应急医疗中医疗效用评价方法

经济学中效用是指消费者在消费商品过程中获得的满足程度，同理，应急医疗中的医疗效用可以理解为应急医疗服务对医疗服务需求的满足程度^[80]。因此，对于确定伤势和病情危重程度的伤员来说，在确定医院的应急医疗服务能力后，应急医疗服务中的医疗效用可以表示如下：

$$U = Q \cdot V \quad (5-7)$$

式中用 U 表示应急医疗服务的医疗效用，而 Q 和 V 分别表示的伤员的应急医疗服务需求与医院的应急医疗服务能力可以由（5-4）式和（5-6）式计算得到。

现实生活中，由于伤员和医院个体具有复杂的特性，往往难以确保达到上式（5-7）中计算得到的效用值，真实的效用值往往是在某个区间内随机取值，该区间可以表示为 $[\underline{U}, \bar{U}]$ ，其中 \underline{U} 表示效用取值的下边界， \bar{U} 表示效用取值的上边界。事实上，效用在区间 $[\underline{U}, \bar{U}]$ 内取值时往往具有一定的分布规律，假设这种该分布的密度函数表示

为 $f(u)$ ，则可以将期望效用表示如下：

$$U = \int_{\underline{U}}^{\bar{U}} uf(u)du \quad (5-8)$$

本文中，取式（5-7）计算结果为效用值的上界 \bar{U} ，取伤员死亡时的效用值为下界 \underline{U} ，即 $\underline{U}=0$ ，假设 u 服从常见的均匀分布，则其概率密度函数可以表示如下：

$$f(u) = \begin{cases} \frac{1}{\bar{U} - \underline{U}}, & u \in [\underline{U}, \bar{U}] \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (5-9)$$

代入式（5-8）即可得到应急医疗效用的计算公式为：

$$\begin{aligned} U &= \int_{\underline{U}}^{\bar{U}} uf(u)du \\ &= \int_{\underline{U}}^{\bar{U}} u \frac{1}{\bar{U} - \underline{U}} du \\ &= \frac{1}{\bar{U} - \underline{U}} \cdot \frac{1}{2} u^2 \Big|_{\underline{U}}^{\bar{U}} \\ &= \frac{1}{2} (\underline{U} + \bar{U}) \\ &= \frac{1}{2} \bar{U} \end{aligned} \quad (5-10)$$

5.4 本章小结

本章针对应急医疗中的医疗效用评价问题，给出了一种基于伤员伤势和病情危重程度以及医院应急医疗服务能力的应急医疗效用评价方法。首先，确定应急医疗中伤员的应急医疗服务需求，这种需求是与伤员的伤势和病情危重程度直接相关的，文中采用了一种比较实用和高效的伤情危重程度判断和识别的方法——修改的早期预警评分系统（MEWS）；同时，考虑到送诊过程中伤员伤势的变化，采用了一种动态考虑伤情与需求的方式评价伤员的伤势变化情况。其次，对于医疗服务的提供者——医院的应急医疗服务能力，通过实际调查和查阅相关文献选用了一套较为完备的评价指标体系，通过集结相关专家评分信息的机制来确定医院的应急医疗服务能力。在对

应急医疗服务的需求方的需求和供应方的医疗服务供应能力进行了分析的基础之上，给出了一种应急医疗中医疗效用评价的方法。

第六章 应急医疗中伤员综合分诊模型

突发公共事件发生时，一般伴随着较多的人员伤亡，在为伤患者提供应急医疗服务时，必须以挽救生命和缓解痛苦为第一要务，当面对着大量的伤员需要救治时，应急救援行动必须有效组织、合理协调才能达成挽救生命和缓解痛苦的目的，因此，医疗分诊在应急救援中就不可或缺。鉴于此，为了实现有效分诊、最大限度地达成救援目标，必须对突发事件中的伤员伤情的轻重缓急程度进行合理的区分，同时对医院的应急医疗服务能力的容量与质量进行分析，从而使得伤员在应急医疗网络内合理分布，满足伤员应急医疗服务的需求同时使得医疗资源得到合理的利用，从而使得医疗分诊方案中治疗效用较好的医疗资源首先用于保证伤情较重和较紧急的伤员的医疗需求，这样也保证了医疗资源的效率得到最大限度的发挥和利用，也是实现有效救援的必要的、可行的途径。基于此，本章将针对应急医疗救援中的伤员分诊问题，构建应急医疗综合分诊模型，以实现应急救援中院前分诊的高效率和高性能，为应急救援提供合理的组织和协调方法，实现救援目标。

6.1 决策问题描述

下面的符号用来描述考虑交通拥堵的应急医疗中的伤员分诊问题中所涉及的集和量：

$S = \{S_1, S_2, \dots, S_n\}$ ：表示突发事件发生后对伤员伤情的 MEWS 评价信息的集合， S_i 表示第 i 种伤情情况，且有 $S_i \in [1, 15]$ ，共有 n 种不同的伤情情况。

Q_i ：伤员的伤情情况为 S_i 时的应急医疗服务需求。

$C = \{C_1, C_2, C_3\}$ ：表示伤员伤情的分类，其中 $C_{k'}$ 表示伤情是第 k' 类，这里 $k' = 1, 2, 3$ 分别表示伤员的伤势为轻伤、中伤、重伤。

$N_{C_{k'}}$ ：表示第 $C_{k'}$ 类伤情伤员的人数，依据第五章的分析可以得到：伤势为轻伤的伤员的数量可以表示为 $N_{C_1} (0 \leq S_i \leq 5)$ ，伤员伤势为中伤的数量为 $N_{C_2} (5 < S_i \leq 9)$ ，伤员中伤势为重伤的数量可以表示为 $N_{C_3} (S_i > 9)$ 。

$H = \{H_1, H_2, \dots, H_m\}$ ：表示应急医疗救援系统内的 m 个医院的集合， H_j 表示第 j 个医院， $j = 1, 2, \dots, m$ 。

$q_j = (q_j^{C_1}, q_j^{C_2}, q_j^{C_3})^T$ ：表示第 j 个医院收治轻伤、中伤、重伤伤员的容量向量。

V_j ：表示第 j 个医院的应急医疗服务能力综合评价信息。

U_{ij} ：表示伤情为 S_i 的伤员被送往第 j 个医院进行救治时的应急医疗效用，其中 $i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m$ 。

T_j : 表示事件发生地点前往第 j 家医院的最短送诊时间, 可由第四章中方法求得。

本文所要解决的问题是: 突发事件后的应急医疗救援中, 考虑城市交通拥堵对救护车辆转送伤员的行程时间的影响以及医疗效用的情况下, 以应急医疗的及时性和医疗资源的高效利用为目标, 实现伤员在应急医疗网络中的合理分布, 确保伤员得到有效救治, 实现救援目标, 具体过程可以描述如下图 6.1 所示。

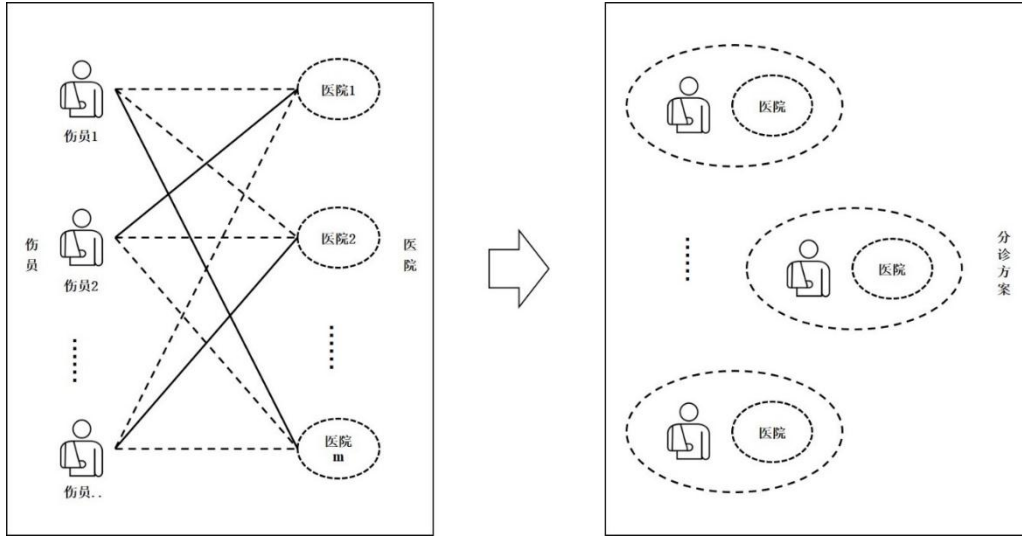


图6.1 应急医疗伤员分诊示意图

6.2 医院应急医疗伤员收治能力

由于突发事件的随机性和突发性, 其发生的时间是不确定的, 需要的医疗资源也是不确定的, 而医院作为公益性组织, 既要满足其日常运营所需的医疗资源, 同时在突发事件发生时还需要组织医疗资源参与应急医疗救治, 因此, 对于一家医院其能用于应急医疗的医疗资源是有限的, 而且在这个过程中由于其他病人的入院、出院等会影响医院在应急医疗上的医疗资源的投入, 因此, 有必要对医院投入应急医疗中的医疗资源进行合理的估计和分析。

医院的应急医疗资源投入主要表现为医院可以收治的急症病例数量, 也即医院能够一次性收治的重伤患者、中伤患者、轻伤患者的数量。考虑到医院收治各类伤员的数量不确定性, 本文考虑采用三角模糊数来表示, 即对于一家医院 H_j , 其能够收治的每中伤情伤员的数量可以表示为 $q_j^{C_k} = (\tilde{q}_j^L, \tilde{q}_j^M, \tilde{q}_j^H)^T$, 其中 $\tilde{q}_j^L \leq \tilde{q}_j^M \leq \tilde{q}_j^H$ 分别表示医院可以收治的该类别伤情的伤员数量的悲观估计、最可能估计和乐观估计数量, 其隶属度函数可以表示为:

$$\mu_{q_j^{C_k}}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq \tilde{q}_j^L, x \geq \tilde{q}_j^H, \\ (x - \tilde{q}_j^L) / (\tilde{q}_j^M - \tilde{q}_j^L), & \tilde{q}_j^L \leq x \leq \tilde{q}_j^M, \\ (\tilde{q}_j^H - x) / (\tilde{q}_j^H - \tilde{q}_j^M), & \tilde{q}_j^M \leq x \leq \tilde{q}_j^H. \end{cases}$$

因此，而医院能收治的每一类别的伤员的数量可以用下式来估计：

$$q_j^{C_k} = \lfloor \alpha_1 \tilde{q}_j^L + \alpha_2 \tilde{q}_j^M + \alpha_3 \tilde{q}_j^H \rfloor \quad (6-1)$$

式中 $\lfloor \cdot \rfloor$ 表示向下取整，且有 $\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 = 1$ 。

6.3 考虑交通拥堵和医疗效用的应急医疗综合分诊模型

(1) 模型目标

本文构建分诊模型的决策变量为 X_{ij} ——伤情为 S_i 的伤员送诊至 H_j 医院的人数。

根据第三章分析，在应急医疗救援中，伤员分诊问题的基本目标是及时响应和高效救援。及时响应反映在送诊时间上，因此本文第四章对分诊问题中的送诊时间进行了分析，而高效救援反映在医疗效用，因此本文第五章对应急医疗救援中的医疗效用问题进行了分析。在应急医疗救援网络中，在进行分诊规划时必须对所有伤员的送诊时间和医疗效用进行综合考虑，因此，可以确定本文的医疗网络中考虑交通拥堵与医疗效用的应急医疗伤员综合分诊模型的目标函数如下：

$$\min z_1 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m X_{ij} \cdot T_j \quad (6-2)$$

$$\max z_2 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m X_{ij} \cdot U_{ij} \quad (6-3)$$

(2) 模型的构建

考虑交通拥堵和医疗效用的应急医疗伤员综合分诊模型的约束条件如下式 (6-4) 到式 (6-6)：

$$\sum_{j=1}^m \sum_{C_k} X_{ij} = N_{C_k} \quad (k=1, 2, 3) \quad (6-4)$$

$$\sum_{C_k} X_{ij} \leq q_j^{C_k} \quad (6-5)$$

$$X_{ij} \geq 0 \quad (6-6)$$

其中，式（6-4）保证了所有的伤员都能够被送往医院救治；式（6-5）保证了医院收治的每一类别伤情的伤员的数量不超过医院给定类别的最大收治人数；式（6-6）表是对决策变量的非负和整数约束。

因此，上式（6-2）至（6-6）即构成了本文的医疗网络中考虑交通拥堵与医疗效用的应急医疗伤员综合分诊模型。

（3）模型的求解

针对以上多目标线性优化模型，本文采用线性加权^[81]的方法将式（6-2）和式（6-3）进行加权并建立一个新的单目标函数，设定权重参数为 ω_1, ω_2 。在进行线性加权之前需要首先对目标函数进行标准化，标准化方法如下：

$$z' = \frac{z_i - z_{\min}}{z_{\max} - z_{\min}} \quad (6-7)$$

其中，在对目标函数 z_2 标准化之前，需要先将其按照 $z'_i = z_{\max} - z_i$ 转化为最小化问题。

最后将目标函数（6-2）和（6-3）转化为单一目标优化问题，可以将（6-2）和（6-3）表示的目标函数转化为以下单目标：

$$\min z' = \omega_1 z'_1 + \omega_2 z'_2 \quad (6-8)$$

因而，上述模型转化为单目标的线性规划问题，可以通过线性规划的方法进行求解。一般地，常用的求解工具如 Lingo 10.0、Excel 2013 或其他优化软件即可求解上述模型。

6.4 算例分析

上月 21 日，晚间 8 时许，在某市市中心区域某商场，10 多人组织、策划并实施了一起暴力恐怖袭击事件：一伙暴徒手持长刀等武器，从商场入口处，一路持刀见人狂砍，惊慌失措中路人纷纷被砍倒，多人倒在血泊中生命危在旦夕，更多的人群由于惊慌失控，四散逃跑，又引发了严重的踩踏事故的发生，造成了更多的人员伤亡。接到警讯后，各部门迅速合作，启动应急机制：公安机关各有关部门迅速配合组织执勤

干警赶赴现场处置警情，并迅速将现场情况通报指挥中心，政府各有关部门迅速组织医疗救护力量到达现场，要求相关医院做好接收伤病人员的准备工作，同时要求社会各界提供帮助积极参与救治伤员的工作。大约晚间 8 时 20 分左右，紧急医护处理小组到达现场，开展医疗救护工作。在考虑医院收治病人容量等条件下，应急指挥小组需要尽快得到送诊的方案。已知，通过现场医护人员的运用 MEWS 评分系统的初步诊断，发现共有 51 人受伤，其中重伤患者 9 人，中等伤情患者 15 人，轻伤患者 27 人，伤员的 MEWS 评分结果如下表 6.1 所示。事发地点附近共有 6 家医院可参与此次应急救援，各家医院与事发地点的路网结构如第四章图 4.3 所示；对这 6 家医院各类伤情伤员的收治能力进行了分析，具体信息如下表 6.2 所示；同时，有三位专家 $E = \{E_1, E_2, E_3\}$ ，他们对这 6 家医院的应急医疗服务能力进行了评价，其评价信息如下表 6.3 所示。计算时取 $\alpha_1 = \alpha_3 = 1/3, \alpha_2 = 2/3, \omega_1 = \omega_2 = 1/2, A = 20, a = 2.0, b = 5.0$ 。

表6.1 伤员 MEWS 评分值

伤情	重伤			中伤		轻伤	
MEWS 评分值	12	11	10	8	7	5	4
人数	1	5	3	8	7	14	13

表6.2 各医院收治伤员能力估计

医院	重伤			中伤			轻伤		
	悲观估计	可能估计	乐观估计	悲观估计	可能估计	乐观估计	悲观估计	可能估计	乐观估计
H_1	1	2	3	3	4	5	6	8	10
H_2	1	2	3	3	4	5	6	8	10
H_3	0	1	2	2	3	4	5	7	9
H_4	0	1	2	2	3	4	5	7	9
H_5	2	4	6	4	6	8	8	9	10
H_6	0	1	2	2	3	4	4	6	8

表6.3 三位专家对 6 家医院的应急医疗服务能力评价信息

指标 体系		I_1	I_2	I_3	I_4	I_5	I_6	I_7	I_8	I_9	I_{10}	I_{11}	I_{12}	I_{13}	I_{14}
E_1	H_1	7	7	5	5	5	5	7	6	7	4	6	6	7	7
	H_2	5	6	7	6	7	7	7	7	7	6	8	7	7	7
	H_3	4	5	3	4	4	3	5	3	5	4	5	4	5	5
	H_4	5	5	6	4	5	5	5	5	6	4	6	6	5	6
	H_5	8	9	9	7	7	7	8	7	8	6	8	7	7	7
	H_6	3	3	3	4	4	3	4	3	5	4	5	4	4	5
E_2	H_1	6	7	7	6	6	6	8	8	8	5	7	7	8	8
	H_2	5	7	6	6	6	6	7	7	7	5	6	6	7	6
	H_3	4	5	5	5	4	4	5	5	5	4	5	5	5	4
	H_4	5	7	7	6	7	6	7	7	7	5	7	6	7	6
	H_5	8	7	8	6	8	6	8	8	8	5	7	7	8	8
	H_6	4	3	4	3	3	3	5	5	4	3	4	4	4	4
E_3	H_1	8	8	6	6	7	7	8	8	8	7	7	6	7	7
	H_2	6	7	6	6	6	7	7	6	6	6	7	6	6	6
	H_3	5	4	3	4	5	5	6	5	5	4	5	4	5	5
	H_4	5	6	4	5	6	6	7	6	6	6	6	5	6	6
	H_5	7	8	6	6	7	7	8	8	8	7	7	6	7	7
	H_6	5	4	3	4	5	4	5	5	5	4	4	4	4	5

通过第四章所述方法可以知道,突发事件发生地点前往 6 家医院的最短送诊时间估计值如下表 6.3 所示。

表6.4 事发地点至各医院最短送诊时间估计值

医院	H_1	H_2	H_3	H_4	H_5	H_6
送诊时间(分钟)	3.86	2.22	3.04	9.24	9.01	10.26

通过第五章所述方法对 6 家医院的应急医疗服务能力进行评价,评价信息如下表 6.4 所示。

表6.5 各医院的应急医疗服务能力评价价值

医院	H_1	H_2	H_3	H_4	H_5	H_6
综合评分	6.35	6.40	4.36	5.60	7.35	3.82

运用第五章所示方法,可以计算得到不同伤情的伤员送诊到不同医院的医疗效用值如下表 6.5 所示。

表6.6 各医院对不同伤情的伤员的医疗效用评价价值

医院		H_1	H_2	H_3	H_4	H_5	H_6
重伤	12	4.37	4.40	3.00	3.889	5.10	2.66
	11	4.22	4.25	2.90	3.76	4.93	2.57
	10	4.06	4.08	2.78	3.61	4.74	2.47
中伤	8	3.63	3.65	2.49	3.24	4.25	2.22
	7	3.35	3.37	2.30	2.99	3.93	2.05
轻伤	5	2.59	2.60	1.78	2.33	3.06	1.60
	4	2.07	2.08	1.42	1.87	2.45	1.29

运用式(6-1)可以求得各医院可以收治的各类伤情伤员的数量如下表 6.6 所示。

表6.7 各医院收治各类伤情伤员的数量

医院	H_1	H_2	H_3	H_4	H_5	H_6
重伤	2	2	1	1	5	1
中伤	8	7	6	6	13	5
轻伤	13	12	17	16	16	13

运用上述综合分诊模型,使用 Lingo10.0 软件可以求得分诊的方案如下表 6.7 所示。

从下表 6.7 所示分诊方案可以看到,对于重伤患者主要送往了医疗效用和时间都较好的 医疗效用评价是最好的,其中 的送诊时间也是很短的,因此,其综合效用是最好的,而实例结果的分诊安排也是最多的,而其他医院的综合效用相对较差,分诊安排亦较少,这一结果与现实中不考虑成本因素的分诊安排是不谋而合的,由此可见,本文所提出的分诊模型具有很好的实用性和可行性。

表6.8 应急医疗中综合分诊方案

医院		H_1	H_2	H_3	H_4	H_5	H_6
重伤	12	0	0	0	0	1	0
	11	0	2	0	0	3	0
	10	2	0	1	0	0	0
中伤	8	2	5	0	0	1	0
	7	3	0	4	0	0	0
轻伤	5	4	10	0	0	0	0
	4	6	0	7	0	0	0

第七章 结论与展望

本文以应急医疗服务中的伤员分诊问题为研究对象,考虑了城市环境下的交通拥堵对送诊时间的影响以及医疗效用的不同,对应急医疗服务分诊涉及的主要问题进行了深入分析。首先,通过国内外相关文献的分析总结,明确了论文的研究问题的必要性和重要性;然后,分析梳理了应急医疗服务体系和框架,对应急医疗分诊问题涉及的研究对象和研究内容分别进行了阐述;最后,结合实际情况,构建了在城市环境下的应急医疗综合分诊模型,并提供了求解方法。本文提供的模型为应急医疗处置中高效实现伤员分诊提供了有益指导,是高效的应急医疗救援系统不可缺少的环节。

7.1 主要研究成果与结论

本文针对城市环境下的应急医疗伤员分诊问题,总结研究过程可以得出以下的主要研究成果:

(1) 对应急医疗服务和伤员分诊问题的相关概念和研究问题明确的基础之上对应急医疗服务的定义及其基本特点进行了详细分析,从而构筑了应急医疗服务体系中分诊问题的理论框架,明晰了本文的研究对象以及研究对象的特点与需求。

(2) 在明确本文研究对象的特点和基本要求的基础之上,对影响研究对象的各因素进行了详细分析,并对影响应急医疗分诊问题的主要因素和次要因素进行了分析,从中发现了本文的研究方向以及研究思路,提出了应急医疗服务中分诊问题的一般流程框架。

(3) 针对城市环境下,出行时间受交通拥堵的影响显著的特点,对应急医疗中的送诊时间进行了预测分析:交通拥堵最直接的反映形式是交通速度的变化,根据速度即可得到送诊时间。因此,对出行时间的预测即可转化为对速度参数的预测,而分析速度参数的特点发现其具有一定的规律性——稳定性和随机性并存的特点,给出了基于马尔可夫改进的指数平滑法来表征这些特点进而实现对速度参数的预测。结合恐怖袭击的案例分析验证了该方法的可行性和实用性。

(4) 应急医疗效用反映了应急医疗服务的效率问题,分别分析了应急医疗服务的需求方和应急医疗服务的供应方的特点,基于效用理论给出了应急医疗服务的评价方法。对于应急医疗服务的需求方,其医疗服务的需求特点与其伤势和病情的危重程度直接相关,因此本文中采用了改进的早期预警评分系统对伤员的伤势和病情危重程度进行评价,并考虑到送诊时间对伤情的影响,给出了伤情的动态评价方法;对于医疗服务的供应方,本文通过深入调查分析选取了评价医院应急医疗服务能力的指标体

系并给出了评价的方法。最后，结合伤员的医疗需求与医院的医疗服务能力给出了期望效用的计算方法，并通过实例分析说明了该方法具有较好的区分度和可信度。

(5) 结合分诊问题的基本优化目标：及时响应和高效响应，本文综合考虑送诊时间和治疗效用，构建了应急医疗中的伤员分诊的综合模型。可以为相关部门的应急医疗管理在处置突发事件时提供参考和理论方法依据，提高应急救援中的应急医疗处置效率。

总结本文的研究目标、研究思路和研究方法，可以得到以下结论：

(1) 在突发事件频发的年代，应急管理成为社会关注的热点课题，应急医疗服务对于应对和处置突发事件具有很强的社会影响和实用价值。目前，国内外研究已经取得一些进展，但是在理论适用性和实际应用上，还有很大的提升空间，需要引起更多的学者和研究人员的重视。本文针对应急医疗服务中的伤员分诊问题，分析了应急医疗管理的主要特点，提出了应急医疗分诊问题的一般理论框架，拓展了应急医疗管理的理论边界，同时本文考虑的是城市环境下的应急医疗问题也有效拓展了应急医疗管理的实用范围。

(2) 现实环境的多样性使得应急医疗及伤员分诊问题面临着多样的挑战，同时城市复杂的地理人文环境以及复杂的决策过程需要对该类问题进行更加详尽和细致的分析，对决策方法和分诊流程等进行更多的理论分析和方法上的创新，形成系统性的学科体系和完备的方法体系，并不断扩展到新的领域。

7.2 本文的主要贡献

本文分析了城市环境下的应急医疗分诊问题的基本方案和潜在应用，主要贡献表现在：

(1) 本文分析了应急医疗中分诊问题的基本特点，提出了应急医疗分诊优化的基本目标和基本流程框架，并针对具体的优化目标进行了分析并给出了计算方法，构建了优化分诊方案的综合模型并给出了求解方法，综合实例分析验证了模型的可行性和合理性。

(2) 考虑到突发事件对社会的巨大破坏性，而在人群密集的城市环境下具有更大的破坏性，同时城市交通环境的拥堵状况，对于应急医疗救援也是一种挑战。因此，本文分析了城市交通拥堵的现状和特征，运用基于马尔可夫改进的二次指数平滑方法对救护车辆的行程时间做出合理的估计，进而帮助救援车辆选择合理的路线转送伤员至医疗机构接受治疗。

(3) 本文结合效用理论分析了医疗效用的主要影响因素。在对需求进行分析时，运用改进的早期预警系统(MEWS)对伤员主体的伤病危重程度进行了分析，对于合

理识别病方主体的医疗服务需求以及后期的院内处置等提供了依据；在对医疗机构的医疗服务能力进行分析时，采用了合理有效的指标体系。最后，结合伤情的危重程度和医疗机构的应急医疗服务能力进行了效用值的计算，这种方法有效考虑到了不同主体的特征，具有科学合理性。

总之，本文的研究在理论上丰富了应急医疗服务中分诊问题的研究理论框架和优化方法体系，为相关问题的研究深入提供了参考；在应用中可以有效指导应急医疗救援中的分诊实践，优化分诊方案。

7.3 本文的研究局限

应急医疗服务中的伤员分诊问题面临着复杂的社会和个体情况，本文考虑了交通拥堵和医疗效用因素对应急医疗分诊问题的影响，虽然取得了一些研究进展和成果，但是任然存在一些思虑不周有待讨论和研究的地方，主要表现在：

(1) 在研究内容上，本文只是一些初步的探讨性研究。本文在考虑交通拥堵对送诊车辆行程时间的影响时，分析的是一些常发性交通拥堵，尚未考虑到一些偶发性交通拥堵的影响，在后续研究过程中需要进一步考虑和深入。此外，在对速度参数预测方法的选用上由于笔者的能力有限，可能存在更优的速度预测方法，需要后进学者的深入研讨。

(2) 本文在构建应急医疗效用评价方法时，针对的是本文研究问题中医院的应急医疗服务能力的评价所选取的指标体系以及其评价的方法体系，在解决实际问题时还需要根据实际情况确定或者进行相应调整。

(3) 本文考虑应急医疗服务中的伤员分诊问题是还可以继续讨论的。本文主要考察的是应急医疗服务中影响分诊方案的主要的因素，而在实际问题中，可能需要考虑到成本、病人意愿等因素的影响，因此，需要根据实际情况考虑更多更复杂的因素，才能更好地拟合现实问题。

7.4 进一步需要开展的工作

本文基于理论分析基础，构建了应急医疗服务中的伤员综合分诊模型，但是从理论和实际效果上还存在一些有待深入研究的地方，主要包括以下几点：

(1) 应急医疗管理是一项复杂的系统工程，涉及到不同的主体和部门，需要各方主体的密切配合和综合协调。本文只是从理论和方法层面分析研究了应急医疗中的伤员分诊问题，对于现实环境中可能产生的其他一些问题未做考虑，这在理论和实践研究方面还需要更多的研究和分析。

(2) 对于应急医疗管理问题还需要进行全面的分析，梳理所有的影响因素，提

炼出一整套科学合理的应急医疗处置方案 and 不同环境下的处置方法, 还需要考虑医疗机构的综合性与专业类别, 以及消防、急救、预防等多部门的协同合作在应急医疗处置中的不同作用和有效方式。

(3) 本文针对应急医疗服务中的伤员的分诊问题, 提出了相应的决策方法。在后续研究中, 需要结合跟多的实际情况, 提出理论和方法的创新。另外, 根据所构建的模型的主要特征, 提出更加快捷、高效的求解方法。

参考文献

- [1] 国务院. 国家突发公共事件总体应急预案[J]. 中国中医基础医学杂志, 2006, 12(4):77-79.
- [2] Golden B L, Seidmann A. Introduction to the Special Issue on Applications of Healthcare Operations Management[J]. Manufacturing & Service Operations Management, 2012, 14(4):485-487.
- [3] 赵炜, 黎檀实, 程云松. 灾难医学继续教育项目专栏 I :美国联邦应急计划简介[J]. 中华危重病急救医学, 2005, 17(4):256-256.
- [4] 寇纲, 李仕明, 汪寿阳,等. 序言——突发事件应急管理[J]. 系统工程理论与实践, 2012, 32(5):3-6.
- [5] Fink S, Amacom. Crisis Management: Planning for the Inevitable[J]. American Management Association, 2002, 4(3):875-876.
- [6] Fernandez I B, Madey G, Prietula M, Rodriguez D. Project ENSAYO: A Virtual Emergency Operations Center for Disaster Management Research, Training and Discovery[J]. Second International Conference on Internet Monitoring and Protection, 2007.
- [7] Fan Z P, Li Y H, Wang X, et al. Hybrid similarity measure for case retrieval in CBR and its application to emergency response towards gas explosion[J]. Expert Systems with Applications, 2014, 41(5): 2526-2534.
- [8] Liu Y, Fan Z P, Zhang Y. Risk decision analysis in emergency response: a method based on cumulative prospect theory[J]. Computers & Operations Research, 2014, 42: 75-82.
- [9] 吴宗之, 刘茂. 重人事故应急预案分级、分类体系及其基本内容[J]. 中国安全科学学报, 2003, 13(1): 15-18.
- [10] 杨静, 陈建明, 赵红. 应急管理中的突发事件分类分级研究[J]. 管理评论, 2005, 17:37-41.
- [11] 樊治平, 刘洋, 沈荣鉴. 基于前景理论的突发事件应急响应的风险决策方法[J]. 系统工程理论与实践, 2012, 32(5):977-984.
- [12] 付德强, 张伟. 考虑服务设施规模的应急物资储备库双目标选址模型研究[J]. 重庆邮电大学学报自然科学版, 2015, 27(3):392-396.
- [13] 王能干, 王坚, 凌卫青. 基于本体的突发事件应急服务模型研究[J]. 计算机与现代化, 2014, (1): 192-200.
- [14] 廖晓星, 陈少华. 从美国应急医疗历史的演变谈对急诊医疗服务体系的再认识[J]. 中国急救复苏与灾害医学杂志, 2006, 1(Z2):178-180.
- [15] Reddy M C, Paul S A, Abraham J, et al. Challenges to effective crisis management: using information and communication technologies to coordinate emergency medical services and

- emergency department teams[J]. International Journal of Medical Informatics, 2009, 78(4):259-269.
- [16] Nakajima I, Juzoji H, Usman K. A study on nationwide emergency medical network for ambulances via HEOs[C]// International Workshop on Enterprise NETWORKING and Computing in Healthcare Industry, 2004. Healthcom 2004. Proceedings. IEEE, 2004:166-171.
- [17] Hassinen M, Marttila-Kontio M. Disaster Relief Coordination using a Documentation System for Emergency Medical Services[C]// Pervasive Health Conference and Workshops. IEEE Xplore, 2007:1-9.
- [18] Capatina D, Dancea O, Cazan R, et al. Regional distributed system for medical emergency assistance[C]// IEEE International Conference on Automation, Quality and Testing, Robotics. IEEE Xplore, 2008:134-138.
- [19] Beraldi P, Bruni M E, Conforti D. Designing robust emergency medical service via stochastic programming[J]. European Journal of Operational Research, 2004, 158(1):183-193.
- [20] Chu S C K, Chu L. A modeling framework for hospital location and service allocation[J]. International Transactions in Operational Research, 2000, 7(6):539-568.
- [21] Chen X, Fan Z, Li Z, et al. A two-stage method for member selection of emergency medical service[J]. Journal of Combinatorial Optimization, 2015, 30(4):871-891.
- [22] Souza R M D, Morabito R, Chiyoshi F Y, et al. Incorporating priorities for waiting customers in the hypercube queuing model with application to an emergency medical service system in Brazil[J]. European Journal of Operational Research, 2015, 242(1):274-285.
- [23] 宫尚宝, 郭玉翠. 基于 BP 人工神经网络的社区医院选址决策[J]. 中国科技信息, 2009(22):185-186.
- [24] 陆相林, 侯云先, 林文,等. 基于设施选址理论的小城镇应急医疗服务中心功能优化——以山东省滕州市为例[J]. 经济地理, 2011, 31(7):1119-1123.
- [25] 代英姿, 王兆刚. 中国医疗资源的配置: 失衡与调整[J]. 东北财经大学学报, 2014, (1):47-53.
- [26] 张杰, 王志勇, 许维胜,等. 突发事件下应急救援路径选择模型的构建和求解[J]. 计算机应用研究, 2011, 28(4):1311-1314.
- [27] 王旭坪, 李小龙, 郭武斌. 基于情景分析的应急路径选择研究[J]. 运筹与管理, 2012(5):67-72.
- [28] 唐伟勤, 张隐, 张敏. 大规模突发事件应急物资调度中的车辆路径问题[J]. 物流技术, 2008, 27(12):60-62.
- [29] 姜艳萍, 王亚, 梁海明. 应急医疗服务医院选择的方法[J]. 东北大学学报(自然科学版), 2010, 31(2):289-292.
- [30] Li G Q, Hou S K, Yu X, et al. A descriptive analysis of injury triage, surge of medical demand,

- and resource use in an university hospital after 8.12 Tianjin Port Explosion, China[J]. Chinese Journal of Traumatology, 2015, 18(6):314.
- [31] 高美华. 改良早期预警评分系统结合 GCS 系统在急诊脑外伤患者分诊中的应用[D]. 中南大学, 2014.
- [32] 金静芬, 郭芝廷. 国内三甲医院急诊预检分诊现状与对策研究[J]. 中华急诊医学杂志, 2015, 24(4):458-461.
- [33] 黄雪丽, 郭爱敏. 国外常用急诊分诊标准的使用现状及评价[J]. 中华护理杂志, 2014, 49(5):597-601.
- [34] 韦敏俭, 黄翠青, 黄霜霞. 急诊分诊病情四级分类法分诊标准的应用研究[J]. 护理研究, 2015(1):86-88.
- [35] 吴世玲, 余春玲. 急诊分诊护士的角色定位和岗位功能延伸[J]. 中国保健营养, 2016, 26(25).
- [36] 刘奕沙, 刘毅. 急诊分诊模式的探讨及对策[J]. 医药前沿, 2016, 6(29):379-380.
- [37] 刘颖, 陈建荣, 张鹏. 急诊分诊现状与展望[J]. 护理学杂志, 2015, 30(6):110-112.
- [38] 许红莲, 汤天平. 急诊分诊在成批伤突发事件中的作用[J]. 基层医学论坛, 2016, 20(7):1007-1008.
- [39] 金静芬, 陈水红, 张茂,等. 急诊预检分级分诊标准的构建研究[J]. 中华急诊医学杂志, 2016, 25(4):527-531.
- [40] Martingill C, Brady W J, Barlotta K, et al. Hospital-based healthcare provider (nurse and physician) integration into an emergency medical services-managed mass-gathering event[J]. American Journal of Emergency Medicine, 2007, 25(1):15.
- [41] Popovich M L, Henderson J M, Stinn J. Information technology in the age of emergency public health response. The framework for an integrated disease surveillance system for rapid detection, tracking, and managing of public health threats[J]. IEEE Engineering in Medicine & Biology Magazine the Quarterly Magazine of the Engineering in Medicine & Biology Society, 2002, 21(5):48.
- [42] Quiroga C A. Performance measures and data requirements for congestion management systems[J]. Transportation Research Part C Emerging Technologies, 2000, 8(1-6):287-306.
- [43] Meng Q, Yang H, Bell M G H. An equivalent continuously differentiable model and a locally convergent algorithm for the continuous network design problem[J]. Transportation Research Part B Methodological, 2001, 35(1):83-105.
- [44] D'Abadie R, Ehrlich T F. Contrasting Time-Based And Distance-Based Measures for Quantifying Traffic Congestion Levels: Analysis Of New Jersey Counties[M]. 2002.
- [45] Li T. Nonlinear Dynamics of Traffic Jams[C]// International Multi-Symposiums on Computer

- p and Computational Sciences. IEEE Xplore, 2007:550-555.
- [46] Kerner B S, Demir C, Herrtwich R G, et al. Traffic state detection with floating car data in road networks[C]// Intelligent Transportation Systems, 2005. Proceedings. IEEE, 2005:44-49.
- [47] Bremmer D, Cotton K, Dan C, et al. Measuring Congestion: Learning from Operational Data[J]. Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board, 2004, 1895(1):188-196.
- [48] Asano M, Sumalee A, Kuwahara M, et al. Dynamic Cell Transmission-Based Pedestrian Model with Multidirectional Flows and Strategic Route Choices[J]. Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board, 2007, 2039(2039):42-49.
- [49] 张和生, 张毅, 胡东成,等. 区域交通状态分析的时空分层模型[J]. 清华大学学报自然科学版, 2007, 47(1):157-160.
- [50] 任其亮, 肖裕民. 城市路网交通拥堵 H-Fuzzy 评判方法研究[J]. 重庆交通大学学报(自然科学版), 2008, 27(5):763-766.
- [51] 刘梦涵, 于雷, 张雪莲,等. 基于累积 Logistic 回归道路交通拥堵强度评价模型[J]. 北京交通大学学报, 2008, 32(6):52-56.
- [52] 沈小军, 陈峻, 王晨. 基于 LVQ 神经网络的交通拥堵预测研究[J]. 交通运输工程与信息学报, 2009, 7(3):97-101.
- [53] 张水潮, 任刚, 王伟. 面向交通规划的城市道路交通拥堵度分析模型[J]. 吉林大学学报(工), 2009, v.39(S2):111-115.
- [54] 王妍颖, 黄宇. 基于大数据下的北京交通拥堵评价指标分析[J]. 交通运输系统工程与信息, 2016, 16(4):231-240.
- [55] 张婧, 任刚. 城市道路交通拥堵状态时空相关性分析[J]. 交通运输系统工程与信息, 2015, 15(2):175-181.
- [56] 袁长伟, 米雪玉, 吴群琪,等. 交通拥堵环境下的城市出租车候时费优化模型[J]. 交通运输工程学报, 2014(2):75-81.
- [57] 祁宏生, 王殿海, 宋现敏. 交通拥堵形成的临界条件[J]. 东南大学学报(英文版), 2011, 27(2):180-184.
- [58] Fink S, Amacom. Crisis Management: Planning for the Inevitable[J]. American Management Association, 2002, 4(3):875-876.
- [59] Gang K, Shi-Ming L I, Wang S Y, et al. Emergency management for incidents and crisis[J]. Xitong Gongcheng Lilun Yu Shijian/system Engineering Theory & Practice, 2012, 32(5):1-4.
- [60] Aringhieri R, Bruni M E, Khodaparasti S, et al. Emergency Medical Services and beyond: Addressing new challenges through a wide literature review[J]. Computers & Operations Research, 2016, 78:349-368.

- [61] 孙健, 刘琼, 彭仲仁. 城市交通拥挤成因及时空演化规律分析——以深圳市为例[J]. 交通运输系统工程与信息, 2011, 11(5):86-93.
- [62] Bauza R, Gozálvez J, Sánchez-Soriano J. Road traffic congestion detection through cooperative Vehicle-to-Vehicle communications[C]// Local Computer Networks. IEEE, 2010:606-612.
- [63] 张婧, 任刚. 城市道路交通拥堵状态时空相关性分析[J]. 交通运输系统工程与信息, 2015, 15(2):175-181.
- [64] 李妍峰, 高自友, 李军. 基于实时交通信息的城市动态网络车辆路径优化问题[J]. 系统工程理论与实践, 2013, 33(7):1813-1819.
- [65] 丁闪闪. 基于路段的高速公路路径行程时间预测方法研究[D]. 东南大学, 2013.
- [66] Park J, Yi L M, McGee R, et al. Intelligent Trip Modeling for the Prediction of an Origin-Destination Traveling Speed Profile[J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2014, 15(3):1039-1053.
- [67] 张忠平. 指数平滑法[M]. 中国统计出版社, 1996.
- [68] 叶尔骅, 张德平. 概率论与随机过程[M]. 科学出版社, 2005.
- [69] Fishburn P C. Utility Theory[J]. Management Science, 1968, 14(5):335-378.
- [70] 张庆东. 院前急救中危重病情判断与思维[J]. 临床医学研究与实践, 2016, 1(18).
- [71] 孟新科, 杨径, 吴华雄,等. MEWS 与 APACHE II 评分在急诊潜在危重病患者病情评价和预后预测中的对比研究[J]. 实用临床医药杂志, 2005, 9(8):1-4.
- [72] 谢晓梅, 孔悦, 杨大金. 改良早期预警评分在急危重症患者抢救中的应用[J]. 护理管理杂志, 2010, 10(5):363-364.
- [73] 曹美芹. 院外急救中改良早期预警评分系统在急诊内科中的应用价值[J]. 中国急救复苏与灾害医学杂志, 2016, 11(4):341-344.
- [74] Subbe C P, Kruger M, Rutherford P, et al. Validation of a modified Early Warning Score in medical admissions[J]. Qjm Monthly Journal of the Association of Physicians, 2001, 94(10): 521.
- [75] 魏刚, 孟新科, 杨径,等. MEWS 与 SAPS II 评分在急诊潜在危重病人病情评价和预后预测中的对比研究[J]. 岭南急诊医学杂志, 2006, 11(4):297-298.
- [76] 倪燕, 赵林度. 考虑不同伤势伤员的应急医疗资源分配研究[J]. 物流技术, 2015(9):115-118.
- [77] Danilov V I, Lambert-Mogiliansky A. Expected utility theory under non-classical uncertainty[J]. Theory and Decision, 2010, 68(1):25-47.
- [78] 程红群. 医院应急医学救援能力建设研究[D]. 中国人民解放军军事医学科学院, 2007.
- [79] 姜艳萍, 王亚, 梁海明. 应急医疗服务医院选择的方法[J]. 东北大学学报(自然科学版), 2010, 31(2):289-292.
- [80] Vymětal D, Ježek F. DEMAND FUNCTION AND ITS ROLE IN A BUSINESS

SIMULATOR[J]. Journal of Advanced Research in Management, 2016.

- [81] Cohon J L. Multiobjective Programming and Planning[M]. Mathematics in Science and Engineering, New York: Academic Press, 1978.

致谢

三年的研究生学习生活即将结束，在毕业之际，我谨向关心和帮助我的老师、同学和朋友表示最衷心的感谢。

首先，我要感谢我的导师陈希副教授。研究生三年的学习和生活中，我的每一点的进步，每一项成绩的获得都凝聚着陈老师多方面的勉励和教诲，从论文的选题、构思，到论文的撰写、定稿，无不包含陈老师精益求精的工作作风。研究生期间是我人生成长的重要阶段，陈老师在学习和生活上都给与了我极大的关心和帮助。陈老师渊博的知识、严谨的治学态度、对工作的献身精神、平易近人的人生风范和高尚的人品，永远激励我踏实做人 and 努力工作。能在陈老师的指导下完成论文写作，我感到非常荣幸。在此，向陈老师致以最崇高的敬意和最诚挚的感谢！

其次，我要感谢陈希副教授领导的科研学术团队。感谢张晓老师、梁海明老师在我论文写作过程中为我提出了很多中肯的建议，给予了许多关心和帮助。感谢我们团队中的每一位成员：王娟师姐、韩雪亮师姐，付孟艳、武超、赵柳、王蕾、孙欢等，和你们在一起的点点滴滴，都将成为我人生中的永恒记忆。三年的硕士生涯中，因为有你们我才得以不断开拓眼界、增长知识、锻炼能力，真的谢谢你们！

再次，我要感谢我的亲人和朋友们。感谢我的父母，在我的成长和教育上，是你们花费了许多的心血、不辞辛苦，教会我做人的道理，为我的学习成长提供了物质和精神上的巨大支持、帮助和鼓励，你们付出的心血我会永远铭记心中。感谢我的兄弟姐妹们，在我求学的道路上，是你们一直都给我最多的关心和极大的支持。还要感谢我所有的朋友们，谢谢你们给予我的帮助和支持。

最后，向培养我们的经济与管理学院和在百忙之中评阅论文和参加答辩的各位专家、老师致以衷心的感谢！

作者简介

1. 基本情况

徐万勇，男，湖北黄冈人，1990年2月出生，西安电子科技大学经济与管理学院管理科学与工程专业2014级硕士研究生。

2. 教育背景

2010.09~2014.06 武汉科技大学，本科，专业：信息管理与信息系统

2014.09~2017.06 西安电子科技大学，硕士研究生，专业：管理科学与工程

3. 攻读硕士学位期间的研究成果

3.1 发表学术论文

[1] Xu Wanyong. Patients Dispatch in Emergency Rescue with Traffic Congestion Considered[J]. Journal of Computing and Electronic Information Management, 2016, 3(6): 696-707.

3.2 参与科研项目

[1] 面向“一带一路”战略发展的区域医疗服务资源协同与创新研究，2015.10~2015.12，数学建模与应用研究。