

# 基于离散选择模型的台风灾害下 交通疏散方案设计研究

向怀坤 蒋蕊蕊

(深圳职业技术学院, 深圳 518055)

**【摘要】**针对传统的台风灾害下交通疏散方案设计中疏散主体的随机选择行为研究的不足, 本文通过对台风的等级、危害及相关疏散内容进行调研, 以台风灾害下交通疏散方案设计中的疏散主体离散选择行为和疏散流程管理为主要研究内容, 对疏散主体的随机离散选择行为建立二元Logit模型进行分析, 并采用SP调查方法完成了疏散行为选择的问卷调查, 利用SPSS软件完成了随机离散选择行为模型的参数标定, 最后以深圳市南山区某片区为例, 在设定的台风等级与疏散场景下进行了基于选择行为模型的台风灾害交通疏散方案设计, 并且采用ArcGIS软件完成了其中的最优疏散路径分析, 对实际台风灾害下的应急交通疏散工作具有一定的指导意义。

**【关键词】**台风灾害; 离散选择模型; SP调查; 交通疏散; 方案设计

**【中图分类号】**U121 **【文献标识码】**A **【DOI】**10.3969/j.issn.1672-2396.2018.01.010 **【文章编号】**16722396[2018]50-0046-05

## Study on Design of Typhoon Disaster Traffic Evacuation Based on Discrete Choice Model

XIANG Huaikun JIANG Ruirui

(Shenzhen Polytechnic, Shenzhen 518055, China)

**Abstract:** Aiming at the shortcomings of the random selection of evacuation subjects in the design of the traffic evacuation scheme under the typhoon disaster, this paper investigates the levels, hazards and related evacuation contents of the typhoon. Taking the discrete choice behavior and evacuation process management of evacuation subjects in the design of traffic evacuation under the typhoon disaster as the main research contents, a binary Logit model is established for the random discrete choice of evacuation subjects, and the questionnaire survey of evacuation behavior selection is completed by SP survey method, and using SPSS software to complete the random discrete choice behavior model parameter calibration. Finally, taking a certain area of Nanshan District in Shenzhen City as an example, the design of typhoon disaster traffic evacuation scheme based on the selection behavior model under the set typhoon level and evacuation scenario was completed. The ArcGIS software is used to analyze the optimal evacuation route, which is of guiding significance to emergency traffic evacuation under the actual typhoon disaster.

**Key words:** typhoon disaster; discrete choice model; SP survey; traffic evacuation; scheme design

### 0 引言

台风是夏秋季节我国沿海各省频繁遭遇的主要自然灾害。由于台风运动轨迹、烈度等的不确定性, 无法提前精确预报其着陆时间和地点, 导致针

对台风的应急疏散管理存在诸多困难, 容易由此造成巨大的人员伤亡和财产损失。根据台风的强烈程度, 灾害程度也不一样, 需要研究有针对性的应对措施, 科学制定交通疏散预案, 这无论从安全预

收稿日期: 2017-11-20

作者简介: 向怀坤 (1971-), 男, 四川南充人, 博士, 高级工程师, 副教授, 现就职于深圳职业技术学院汽车与交通学院, 从事智能交通管理等方面的教学与研究工作。

基金项目: 教育部人文社科项目 (16YJE630003), 深圳市政府创客专项资金计划 (GRCK2015092816025740)

警、应急救援，还是从社会管理等方面都是必要的。

国外针对突发事件（如台风、飓风等）下的应急交通疏散研究起步较早且较为系统，包括应急疏散框架、疏散交通需求预测、疏散交通管控与仿真等<sup>[1-2]</sup>。以美国为例，其飓风灾害十分突出，相关区域疏散研究积累了大量数据和分析成果。早期的研究主要集中于各种强风暴条件下疏散交通的管控，如逆向行车控制、分阶段疏散计划、车道的路径选择模型等等<sup>[3]</sup>。PBS&J公司在进行美国东南部飓风交通疏散研究时，对双向4车道高速公路的若干种可替换逆向行车控制策略进行了研究<sup>[4]</sup>。在交通需求预测方面，提出了包括标准规划预测法、回归预测法等方法，同时开发了一系列交通疏散仿真模型，如CLEAR、DYNEV、EVACD等，这些模型可以仿真个体车辆的移动（微观仿真）或者有限车辆所形成的交通流（中观仿真），或者通过“动态交通分配”（宏观仿真）以实现区域路线的选择过程。国内在这方面也开展了一些研究工作<sup>[5-6]</sup>。在应急疏散主体受各种信息影响下的出行选择方面，王泽等人引入后悔最小化决策规则，分别从微观和宏观层面研究了疏散者出行路径选择行为和多类用户随机均衡配流模型<sup>[7-8]</sup>。另外，随着研究的深入，人们逐步考虑到疏散需求的变化、疏散路线的灵活性，以及基于驾驶行为敏感性的疏散有效性<sup>[9-10]</sup>。从总体来看，无论是疏散交通需求，还是交通疏散仿真建模及敏感性的引入，在分析过程中都做了大量的假设，与实际的交通疏散行为存在较大偏差。

在紧急疏散中，人员的疏散方案是重要的组成部分，直接决定着疏散方案的实施效果。为了避免大规模疏散对经济活动与群众生活的影响，以及频繁疏散指令导致的麻痹心理，疏散指令只能在十分紧急的情况下发出，在短暂时间内由于应急疏散可能导致道路的通行能力受限，从而影响区域人员的安全、高效且全面疏散工作。因此，有必要研究如何在有限的道路资源网络下，针对城市居民的出行选择行为特征，实施科学和有效的人员紧急疏散。

## 1 台风灾害等级及其危害性分析

台风（或飓风）是产生于热带洋面上的一种强烈热带气旋。印度洋和北太平洋西部、国际日期变更以西，包括南中国海范围内发生的热带气旋成为“台风”；而在大西洋或北太平洋东部的热带气旋

则称“飓风”<sup>[2]</sup>。

根据中国气象局“关于实施热带气旋等级国家标准”GB/T 19201-2006 的分类，热带气旋按中心附近地面最大风速划分为六个等级，分别是：

（1）热带低压——中心风力可达6级，或阵风7级以上。

（2）热带风暴——中心风力7~9级，或阵风9级并可能持续。

（3）强热带风暴——中心风力为9~11级，或阵风11级并可能持续。

（4）台风——中心风力为11~13级，或阵风13级并可能持续。

（5）强台风——中心风力为13~15级，或阵风15级并可能持续。

（6）超强台风——中心风力为15~17级，或阵风17级并可能持续。

台风预警信号被划分为五级，分别以白色、蓝色、黄色、橙色和红色表示并以不同的风力大小和平均风力、风圈半径、疏散人数等进行分类。表1给出了影响较多的四种台风等级，并且对应不同的预警有不同的疏散方式<sup>[7]</sup>。

表1 台风等级及交通疏散

疏散分组依据	特别重大	重大	较大	一般
台风	6小时>12级	12小时>10级	24小时>8级	24小时>6级
平均风力	阵风12级以上	阵风10-11级	阵风9-10级	阵风7-8级
台风预警	红色	橙色	黄色	蓝色
疏散方式	步行+车辆	步行+车辆	步行+车辆	步行+车辆
疏散半径	≥20km	(10, 25) km	(4, 10) km	≤4km
疏散人数	≥15万	(7, 15) 万	(4, 7) 万	≤4万
道路资源	所有道路	所有道路	部分道路	部分道路

台风具有周期性的特点，气象部门依靠气象预报和检测技术，可以根据编号台风热带气旋的风力、风向、速度等实况指标来预测可能受到严重影响的地区（即疏散危险区），并根据需要发布或解除警报，最终经应急疏散指挥中心研究发布疏散通知。市民通过广播、电视、121气象专线及手机短信、微信和一些时下流行的通讯方式接受台风最新动态，以便及时做好相应的疏散准备。虽然台风的着陆时间和具体地点很难精准预测，但是对于台风频发地区，预防工作将会切实有效和可行<sup>[11]</sup>。

台风经过时常伴随着大风和暴雨或特大暴雨等强对流天气，由于这些天气现象具有突发性和破坏性的特点，造成巨大的生命和财产损失，因此台风被称为世界上最严重的灾害系统之一。台风的危害

性主要有三个方面:

(1) 大风。台风中心附近最大风力一般为8级以上, 各类危旧住房、厂房、工棚、围墙、临时建筑、在建工程、市政公用设施、游乐设施、广告牌、铁塔、海上船只、港口码头设施等可能因抗风能力不足而被吹倒(翻), 建筑材料等容易被风吹落, 门窗玻璃、幕墙玻璃等被强风吹碎或吹落, 都可能造成人员伤亡。

(2) 暴雨。台风是最强的暴雨天气系统之一, 在台风经过的地区, 一般能产生150mm~300mm降雨, 少数台风能产生1000mm以上的特大暴雨。1975年第3号台风在淮河上游产生的特大暴雨, 创造了中国大陆地区暴雨极值, 形成了河南75.8大洪水。另外暴雨还可能造成水利工程失事, 引发山体滑坡、泥石流等地质灾害, 造成人员伤亡。

(3) 风暴潮。一般台风能使沿岸海水产生增水。风暴潮容易冲毁海塘堤防, 涵闸、码头。护岸等设施, 能造成海堤决口、海水倒灌, 甚至可能直接冲走附近人员, 造成人员伤亡。

## 2 台风灾害下的出行选择行为调查与建模

### 2.1 台风灾害下居民出行特征调查方案设计

台风灾害下的交通疏散主体为台风预警范围内的城市人群。为了从理论分析在台风灾害下城市被疏散人群的出行行为, 为下一阶段制定疏散预案提供支持, 本文采用陈述偏好(Stated Preference, SP)调查法。调查的主题包括了被调查主体的性别、年龄、职业、收入、对台风的认识以及与应急疏散相关的一些内容。为保证调查结果的有效性, 运用概率论与数理统计原理估算本次抽样调查的总样本量为163份。在具体实施过程中, 采用线上(On-line)调查和线下(Off-line)调查两种调查模式。调查目标主要是为了获取疏散主体对疏散方案的认可度以及影响因素。本次调查区域为广东省深圳市南山区, 总人口约113万<sup>①</sup>, 调查时间为2017年11月5日至11日, 最后实际回收有效样本170份。

### 2.2 台风灾害下交通疏散的居民出行选择建模

台风灾害下交通疏散的关键是人员的疏散安置, 这涉及到被疏散人口的出行选择问题, 经典的

二项Logit离散选择模型可以很好的描述这一现象。

本文在前面问卷调查的基础上, 利用SPSS软件进行Logit模型估计, 置信度取95%, 通过逐步回归分析, 将全部影响变量放入模型, 然后逐步剔除不显著变量, 最后得到显著变量。从建模评价参数来看, Cox & Snell R方值为0.037, 表明该模型具有显著的统计学意义, 同时Nagelkerke R方值为0.156, 表明拟合效果很好。建模如果如表2所示。

表2 居民出行选择行为建模统计表

	方程中的变量						EXP(B) 的 95% C.I.	
	B	S.E.	Wals	df	Sig.	Exp (B)	下限	上限
性别	-5.28E-01	9.49E-01	3.09E-01	1.00E+00	5.78E-01	5.90E-01	9.18E-02	3.79E+00
年龄	-1.17E+00	1.20E+00	9.42E-01	1.00E+00	3.32E-01	3.11E-01	2.94E-02	3.29E+00
有无车辆	-2.49E-01	9.88E-01	6.33E-02	1.00E+00	8.01E-01	7.80E-01	1.12E-01	5.41E+00
财产	-1.75E+01	4.02E+04	1.90E-07	1.00E+00	1.00E+00	2.50E-08	0.00E+00	
疏散疏散方式	-1.77E+01	4.02E+04	1.94E-07	1.00E+00	1.00E+00	2.07E-08	0.00E+00	
台风影响时间长短	1.08E+00	4.09E+04	6.94E-10	1.00E+00	1.00E+00	2.94E+00	0.00E+00	
政府公信力	8.67E-01	4.10E+04	4.48E-10	1.00E+00	1.00E+00	2.38E+00	0.00E+00	
家庭因素	-1.66E+01	4.02E+04	1.71E-07	1.00E+00	1.00E+00	5.95E-08	0.00E+00	
常量	2.15E+01	4.02E+04	2.85E-07	1.00E+00	1.00E+00	2.07E+09		

根据表2可以得出选择统一疏散的效用函数(即概率)为:

$$V=21.451-0.528GEN-1.169AGE-0.249CAR-17.503H-17.694R+1.078T+0.867P-16.638F(1)$$

式中: GEN代表性别; AGE代表年龄; OCC代表职业; CAR代表拥车; H为财产; R路径; T台风影响时间长短; P政府公信力; F家庭因素。

进一步分析模型系数可知, 对于性别女, 年龄25岁以上, 无汽车的人, 更容易选择及时撤离统一疏散, 但是对于男性有车者因变量为负, 说明有车一族选择自我撤离或者不撤离的因素更加明显。女性无车者更在乎政府统一疏散, 这也符合实际, 表明所构建的台风天气下紧急疏散的模型经过统计学检验是正确的, 基于该模型的预测将具有较高的准确性。

## 3 台风灾害下交通疏散方案设计——以深圳市某片区为例

### 3.1 疏散情景构建

#### 3.1.1 情景一: 在线区域概况——深圳蛇口

①数据来源: 南方财富网(<http://www.southmoney.com/paihangbang/201710/1689288.html>)“2017深圳市各区人口数量排行榜”汇总得到深圳市12个区的统计人口总数(包括福田区、罗湖区、南山区、盐田区、宝安区、龙岗区、光明新区、龙华新区、坪山新区和大鹏新区)



蛇口位于南头半岛东南端，东临深圳湾，西濒珠江口，南与香港元朗隔海相望，连接香港的西部通道跨海大桥落脚于蛇口东角头。辖区总面积12.29平方公里。辖区总人口11.6万人。分为深圳湾社区、海昌社区、海滨社区、雷岭社区、东角头社区、围仔社区、大铲社区、南水社区、海湾社区、湾厦社区、渔一社区、渔二社区。各社区的人口分布见表3深圳蛇口社区及对应人口分布。

表3 深圳蛇口社区及对应人口

地区	土地面积（平方公里）	人口（万人）
蛇口区域	12.29	11.60
深圳湾社区	3.20	1.10
海昌社区	1.42	1.20
海滨社区	0.32	0.10
雷岭社区	0.62	1.30
东角头社区	0.81	1.30
围仔社区	0.47	1.00
大铲社区	0.45	0.60
南水社区	1.20	1.20
海湾社区	0.45	1.10
湾厦社区	0.35	1.90
渔一社区	0.45	0.70
渔二社区	0.80	1.00

3.1.2 情景二：疏散目的地选择和人口

本文疏散区域主要讨论蛇口区域如图1所示。蛇口东临深圳湾，西濒珠江口，海港众多，台风来临，深圳气象局发布预警信号之前，蛇口邮轮中心应发布客船停止出港预警信号，码头相关负责人员加固码头相关设施，提前通知旅客；城管部门，形成绿化应急小分队，进行路段巡查，及时清理倒伏树木；低矮建筑，危险房屋进行加固；安置施工人员，以及危险房屋人员，和一些特殊人群；暴雨可能使得道路能见度降低，因此出行要注意安全；居民要做到防止内涝，注意次生灾害，远离边坡等措施。等待深圳气象局发布下一步预警信号。



图1 蛇口片区区域图

根据各个社区人口数量分布特点，情景设定下本文只考虑受灾区域的三个小区、蛇口沿海区域人群、滞留旅客安置、危险房屋人群、施工人群。需要疏散人口2万余人，根据疏散的人员的影响因素分析，有无车辆会使居民的选择情况各有不一，因此本文主要针对政府公共汽车统一疏散方式，则需要公交车数 500辆（35人），大货车需要40辆。

3.2 疏散方案设计

3.2.1 疏散终点的选择

为了达到疏散规划目的，疏散者的最终目的地和最近目的地都需要考虑。最终目的地是疏散者在返回家乡前所待的公共设施和私人机构。大多数疏散者与亲人、朋友待在一起，或者在酒店。公共避难中心应有足够的空间来容纳疏散者，且所在地有足够的入口路线来提供人道主义援助医疗援助等。从实际的角度来看，体育馆、公立学校、或大学建筑物可以用来作为避难中心。因为它们的设计目的就是用来容纳大量的人员，反过来，就近的目的地被视为边界，疏散者穿过这个边界后就是安全的。本文选择以大型体育馆和学校为疏散终点，例如深圳大学的体育馆等设施，可容纳2万人左右。

3.2.2 台风影响范围、人口及疏散路线

图2是本文设定的台风影响范围。考虑橙色台风等级，图中的红色表示整个蛇口片区，台风灾害疏散的目标人群为下图3中的三块小区（绿色区域），从调查统计的初步估算来看，三个小区分别有人口6000人（其中老人100、小孩1000、成年人4000）、5000人（其中老人1000、小孩500、成年人3500）和3000人（其中老人600、小孩400、成年人2000），基于前面对台风灾害下人群的出行选择理论建模，可得出受影响范围内人员出行选择中有80%的人口愿意接受政府的疏散安排，疏散到政府指定的安全区



图2 台风影响范围图



图3 深圳南山蛇口片区疏散路径



(a) 疏散路径1 (b) 疏散路径2 (c) 疏散路径3

图4 三条疏散路径

域(图中的红色区域)。再利用ArcGIS最短路径分析工具,得到了三个小区到疏散点的最短路径,如图4中黄色路径所示。

路径1:为图中一区域疏散主要路径,由南海大道与望海路交界处沿南海大道向北疏散到深圳大学。路径总路线约为8.1千米,路径1如上图4(a)所示。

路径2:为图中二区域疏散主要路径,由太子路与工业三路为疏散起点,向西沿望海路走1.1公里到与南海大道交界处,沿南海大道向北走约5.6千米到达疏散终点。路径3如图4(b)所示。

路径3:为图中三区疏散主要路径,沿后海大道一路向北,行驶约5.1m到达疏散目的地。路径3如图4(c)所示。

## 4 结语

台风是沿海地区特别是广东省每年都会遇到的自然灾害事件。本文以台风灾害为背景,对其影响下的某城市区域的人口交通疏散问题展开研究,重点构建了人群在应急灾害下的出行选择行为,以及基于该行为的交通疏散方案设计。为了科学地分析人们的出行选择,本文采用Logit模型,通过调查采集了相应的数据,对该模型参数进行了标定,将其作为疏散区域人口出行选择的预测分析工具。另外,通过对台风等级的分析,设定了深圳市蛇口片区的三处小区,对该小区人口在应急状态下的选择进行分析,发现有近80%的居民自愿遵照政府要求,疏散到指定的安全区域,本文利用ArcGIS的最短路径分析工具得到了疏散的最短路径。最后,根据应急疏散方案制定的工作流程,设计了该片区人口疏散的交通疏散方案。

## 参考文献

- [1]安实,崔建勋,王健.国外道路交通应急区域疏散研究综述[J].交通运输系统工程与信息,2008,8(6):39-44
- [2]牛金山,刘晓.基于物联网技术的实时应急疏散调度研究[J].中国安全科学学报,2011,21(9):166-171
- [3]Pamela Murray-Tuite, Brian Wolshon. Evacuation transportation modeling: An overview of research, development, and practice[J]. Transportation Research Part C 27 (2013): 25-45
- [4]PBS&J. Southeast United States Hurricane Evacuation Traffic Study-Technical Memorandum Number 3: Reverse Lane Standards and ITS Strategies. Final Report for Southeast United States Hurricane Evacuation Study. 2000: 821-834
- [5]卢兆明,林鹏,黄河潮.基于GIS的都市应急疏散系统[J].中国公共安全(学术版),2005(2):35-40.
- [6]任刚,吴建波,姚梦佳.基于过饱和控制的疏散网络优化模型[J].交通运输系统工程与信息,2015,15(3):107-113
- [7]谢智昊,胡成,陈志华.大规模人群聚集风险控制态势模型研究[J].中国公共安全(学术版),2017(03):29-35
- [8]宋玉垒.突发事件下城市道路交通疏散模型研究[D].北京交通大学,2017:9-26
- [9]张婷婷.影响地铁站火灾情况下人员疏散时间的因素敏感性分析[J].中国公共安全(学术版),2016(02):45-49.
- [10]Margarita Kostovasil, Constantinos Antoniou. Simulation-based evaluation of evacuation effectiveness using driving behavior sensitivity analysis[J]. Simulation Modelling Practice and Theory, Volume 70, January 2017: 135-148.
- [11]陈星.基于动态交通分配的区域疏散实时交通控制研究.科学技术与工程,2013,13(35):10763-10768.