

何建敏 刘春林 著
曹 杰 方 磊

应急管理 with 应急系统

—— 选址、调度与算法

 科学出版社
www.sciencep.com

应急管理 with 应急系统

——选址、调度与算法

何建敏 刘春林 著
曹杰 方磊

本书为国家自然科学基金资助项目
(项目编号: 79970096, 70101003)

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书是在国家自然科学基金项目“应急管理中紧急物资调度的方法与技术研究”和“基于供应链系统的应急管理研究”资助下完成的。全书内容分为四个部分。第一部分主要分析应急管理的基本思想和解决应急管理问题的相关研究基础及典型应用实例。第二部分重点研究应急管理系统的选址问题。第三部分研究应急资源的配置和调度问题。第四部分研究了应急管理技术方法在供应链管理、项目管理等其他管理领域中的应用。

本书适合于管理科学与工程、系统科学、系统工程、工商管理、公共管理等专业的高年级本科生、研究生和教师以及行政、企业和事业单位的高层管理与研究人员阅读参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

应急管理 with 应急系统—选址、调度与算法/何建敏等著. —北京: 科学出版社, 2005

ISBN 7-03-014956-4

I. 应… II. 何… III. 数学模型—研究 IV. O22

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 013346 号

责任编辑: 徐 蕊 李俊峰/责任校对: 陈丽珠

责任印制: 安春生/封面设计: 陈 敬

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

西源印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2005年7月第 一 版 开本: A5 (890×1240)

2005年7月第一次印刷 印张: 6 3/4

印数: 1—2 500 字数: 204 000

定价: 20.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换〈路通〉)

前 言

本书针对应急管理 with 应急系统的选址、调度与算法这一基础性问题进行研究，重点分析了各种不同条件下的应急服务点的选址问题、应急资源的配置问题和应急资源的调度问题，以及解决这些问题的模型和算法，帮助读者全面了解应急管理的基本思想及应急管理中的典型问题，提高运用应急管理思想和技术解决实际问题的能力。

本书共分四个部分。第一部分主要分析应急管理的基本思想和解决应急管理问题的相关研究基础及应急管理的典型应用实例；第二部分重点研究应急管理系统的选址问题，详细分析了各种条件下如何选择合适的应急设施的地址，包括：“在满足时间紧迫性的前提下，应急服务设施点到各个应急地点（含权重）的距离”作为目标的优化模型、多个应急服务设施点的模型、给定限期条件下的应急服务设施点的选址模型、有意义的限制期条件下应急服务设施点的选址模型以及综合 AHP 和目标规划方法的应急服务设施选址模型；第三部分研究应急资源的配置和调度问题，包括：一次性消耗系统的确定型应急优化模型、连续消耗系统的确定型应急优化模型、给定限制期条件下最小风险路径的选择问题、模糊网络（边权为对称模糊数）的最大满意度路径的选择问题、不确定情况下并且有限制期的全局优化模型等；第四部分研究了应急管理技术方法在其他管理领域中的应用，如供应链管理、项目管理等。

本书的研究工作得到了国家自然科学基金资助项目“应急管理中紧急物资调度的方法与技术研究”（项目编号：79970096）和“基于供应链系统的应急管理研究”（项目编号：70101003）的资助，在此表示衷心的感谢！当然，本书的研究工作还是在应急领域的专家学者的研究工作基础上进一步展开的，在此向他们致敬。

谨以本书献给支持和关心我们的国家自然科学基金委员会管理科学部以及我们的家人，是他们的支持和关心使得本书得以顺利完成，再一次向所有关心和支持我们的人表示感谢！

何建敏 刘春林 曹杰 方磊

2005年3月26日

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 应急管理的研究意义、内容和现状	1
1.1.1 问题的提出	1
1.1.2 研究意义	3
1.1.3 国内外研究现状	6
1.2 应急管理应用背景分析	9
1.2.1 火灾应急	10
1.2.2 地震应急	13
1.2.3 交通事故应急	15
1.3 相关研究基础	18
1.3.1 最短路问题	18
1.3.2 绝对中心点问题	20
1.3.3 集合覆盖问题	21
1.3.4 模糊数学基础	23
1.4 本书的内容安排	36
第 2 章 单个应急服务设施点的选址问题	39
2.1 单个应急服务设施点选址问题的提出	39
2.1.1 问题描述	39
2.1.2 数学模型	43
2.2 问题的求解及算法	44
2.2.1 问题分析	44
2.2.2 选址算法	48
2.3 选址算例	48
2.4 相关研究介绍	50
2.5 小结	52

第 3 章 多个应急服务设施点的选址问题	53
3.1 多个应急服务设施点的选址问题	53
3.1.1 问题的描述	53
3.1.2 选址模型	54
3.2 问题分析与算法	55
3.2.1 问题分析	55
3.2.2 选址算法	61
3.3 选址算例	62
3.4 模型的其他应用	64
3.5 相关研究介绍	65
3.5.1 应急选址多目标模型	65
3.5.2 有条件的 p-center 模型及算法	66
3.6 小结	67
第 4 章 给定限期条件下应急服务设施点的选址问题	68
4.1 问题的提出	68
4.2 模型及算法	70
4.3 选址算例	72
4.4 模型的不足及相关模型的介绍	74
4.5 小结	75
第 5 章 有意义的限制期条件下应急服务设施点的选址问题	76
5.1 问题的提出	76
5.2 选址模型	76
5.3 选址算法	77
5.4 选址算例	82
5.5 小结	84
第 6 章 应急系统选址规划模型	85
6.1 问题描述	85
6.2 选址模型	85
6.2.1 AHP 方法简介	86
6.2.2 综合 AHP 方法和目标规划方法的应急系统选址模型	87
6.2.3 目标函数的确定	90
6.3 应用实例	91

6.4	相关模型的介绍	93
6.4.1	决策变量的分析	94
6.4.2	参数定义	94
6.4.3	约束条件分析	94
6.5	小结	97
第7章	确定型多出救点组合问题	98
7.1	多出救点组合方案问题的数学描述	98
7.2	相关问题的定义	99
7.3	一次性消耗系统方案的求取	101
7.3.1	单目标问题的求解	101
7.3.2	两阶段目标问题的求解	102
7.4	多目标问题的模糊规划方法	103
7.4.1	模糊目标集的构造	103
7.4.2	数学模型的求解及算法步骤	104
7.4.3	算例	108
7.5	小结	110
第8章	连续消耗多出救点组合方案问题	111
8.1	问题描述	111
8.2	相关问题的定义及性质	111
8.3	单目标问题的求解	113
8.3.1	单目标问题的最优方案	113
8.3.2	最早应急时间的求取	114
8.3.3	算例	117
8.4	两阶段问题的求解	118
8.4.1	问题的提出	118
8.4.2	算法过程	118
8.4.3	数学证明	119
8.4.4	算例与应用	123
8.5	模型的推广	124
8.6	多资源问题的模型及求解	127
8.6.1	多资源方案的表示	127
8.6.2	多资源问题的求解	128

8.6.3 多资源问题的算例	129
8.7 多资源问题多目标模型研究	130
8.7.1 模型定义	130
8.7.2 数学模型的求解及算法步骤	132
8.7.3 算例	135
8.8 小结	136
第9章 区间数网络最小风险路径的选取	138
9.1 引言	138
9.2 区间数的性质及风险函数的定义	139
9.2.1 区间数的运算及序关系的定义	139
9.2.2 风险函数的定义	139
9.3 问题转化	142
9.4 最短路算法思想的扩展	145
9.4.1 重要定理	145
9.4.2 算法思想	149
9.5 算法步骤及框图	150
9.6 算例及算法比较	151
9.7 小结	152
第10章 模糊网络最大满意路径的选取	153
10.1 引言	153
10.2 STFN 的性质及满意度函数的定义	153
10.2.1 与 STFN 有关的定义	153
10.2.2 满意度函数的定义	157
10.3 问题转化	158
10.4 算法步骤	160
10.5 算例	160
10.6 小结	162
第11章 不确定情况下的多点出救方案	163
11.1 问题描述	163
11.2 确定性问题的求解	163
11.3 时间为区间数的方案的求解	164
11.4 时间为区间数的两阶段问题的求解	166

11.5	时间为对称三角模糊数的最优方案的求解	167
11.6	小结	168
第 12 章	应急调度问题的集成研究	169
12.1	问题描述	169
12.2	区间数边权问题的求解	169
12.3	边权为 STFN 的全局问题求解	171
12.4	算例	172
12.5	小结	174
第 13 章	应急管理方法在其他领域的拓展应用	175
13.1	最小化交货费用的供应链优化模型	175
13.1.1	问题描述	175
13.1.2	问题求解	178
13.1.3	仿真算例	180
13.2	多供应商网络应急调度方案的系统模型	181
13.2.1	问题描述	181
13.2.2	相关定义	181
13.2.3	可行方案与紧急状态的识别	183
13.2.4	最小费用应急方案的二次规划模型	185
13.2.5	算例研究	186
13.3	不确定网络计划的关键路线问题	187
13.3.1	经典 PERT 关键路线技术存在的问题	187
13.3.2	不确定网络计划的最关键路线的定义	188
13.3.3	模糊网络计划	189
13.4	小结	192
参考文献		193

第1章 绪 论

1.1 应急管理的研究意义、内容和现状

1.1.1 问题的提出

如何应对突发事件, 是任何国家和社会组织都可能面对的强有力的挑战之一。长期以来, 人类社会的进步常常以其赖以生存环境的不断恶化为代价, 其结果必然是自然或人为灾害的不断增多。当地震、水灾、核泄漏等恶性事件不断出现在我们周围时, 人类对灾害所表现的脆弱和无奈暴露无遗。1999年的土耳其大地震和我国台湾地区大地震造成数以万计的人员伤亡, 我国1998年夏季的特大洪涝灾害以及2003年“非典”(医学上称为“严重急性呼吸系统综合征”, SARS)的流行等事件充分显示了当前人类应急管理水平的落后。建立一整套的应急管理机制和应急管理策略已迫在眉睫!

尽管灾害不可避免, 但科学的进步, 特别是信息化的发展使得我们战胜灾害成为可能。至少, 通过这些信息化手段对其进行应急管理可以在相当程度上降低灾害给人类带来的巨大损失。近年来, 国际学术界非常注重对应急问题的研究, 从第一个应急管理国际组织——国际应急管理工程协会(TIMEMS)诞生之日(1994年)起, 高水平的研究成果层出不穷。这些成果几乎囊括了从信息获取到应急策略制定的方方面面, 并且广泛运用于森林火灾^[1]、地震^[2]、矿井塌陷^[3]、放射性废料泄漏事故^[4]等具体灾害领域。这些方面的理论研究和应用实践取得了相当丰硕的成果。但是由于对该领域的研究尚处在起步阶段, 还有许多基础性工作迫切需要进行深入研究, 主要包括:

(1) 应急服务点的选址问题。应急管理最重要的一项职能就是向事故地及时提供充足的应急资源, 决策者首先就面临应急服务点的选址安排问题。服务点选址决策对于应急管理至关重要, 这是因为将应急服务点置于合理的位置, 不仅可以降低成本, 而且还能够保证提供应急物资的

时效性,从而避免了可能导致的更大损失。如果从服务点的多少来划分,应急服务点选址决策至少涉及两方面问题:单服务点选址决策问题和多服务点选址决策问题。

(2)应急资源的配置问题。一旦应急服务点的地址已经确定,接下来就需要对每个应急服务点分配资源,应急管理不可忽视的一个约束就是成本,正是由于存在成本约束,我们不可能也没有必要向每个服务点提供无穷多的资源以应付应急事件。因此如何在满足一定服务水平的前提下,有效分配资源就显得非常重要。

(3)应急资源的调度问题。当一个事故发生时,应急调度系统需要从这些应急服务点调配资源参与应急,即确定参与应急的应急服务点、相应的应急物资数量及各自的行驶路线。这里既涉及运输规划问题,又涉及组合优化问题。由于应急活动通常具有时间约束,因此基于限制期条件下的运输规划和组合优化更能够体现应急调度问题的本质特点。

因此,应急工作是一项复杂的系统工程,同时涉及社会的许多方面和层次。特别广泛的应用范围加上系统自身的复杂性,使得对于应急管理与应急系统的研究涉及面广、工作量大、形式多样、内容复杂,需要不同领域、各种类型的专家共同努力。表 1.1 从四个方面介绍这方面的研究工作。

表 1.1 应急管理 with 应急系统研究工作^[5]

研究类型	内 容
行政、组织、政策研究	国际、区域、国家、地方各级应急机构建立,这是应急工作的组织保障;国际、区域、国家、地方各种合作、交流、教育、培训,这些活动将促进应急研究工作的发展并保证应急工作的有效实施;各类应急条例、法案颁布,为应急工作提供法律依据和法律程序,使应急工作规范化、制度化
基础理论、方法研究	各种灾害的灾因机制研究;新的分析、预测、评估、仿真、优化、决策理论和方法;防灾工程(材料、结构、管理)研究
技术、工具研究	人造卫星用于应急通讯、监视、图像;先进的观测、试验、分析仪器;不断改进的通信、通讯网,数据采集、传输技术,救援、医疗设备;计算机用于数据处理、预测、监控、报警;此外,大量的软件系统,如地理信息系统、应急操作系统、辅助应急决策系统等已成为非常有效的应急辅助工具
计算机应急系统	这是一个以计算机为中心的组合系统,它运用应急理论、方法,将各种技术和工具有机组合,构成一个具有某种应急功能的自动化系统,是当今应急系统研究的主要内容

本书将针对应急管理 with 应急系统的选址、调度与算法这一基础性问题进行深入研究,该问题是如此重要,以至于1990年美国颁布的危险品安全运输条例(The Hazardous Materials Transportation Uniform Safety Act)明确地把应急反应能力(应急调度的效率)列为与危险品运输密切相关的六个重要因素之一,而我国近期也在医疗、地震、消防等方面颁布了有关处理紧急事件的法令或条例。例如,我国于1995年4月颁布的《破坏性地震应急条例》和1999年3月实施的《中华人民共和国防震减灾法》对地震的应急和震后救灾活动都作了详细的规定。

1.1.2 研究意义

20世纪70年代以来,重大事故应急系统受到了国际社会的普遍重视,许多工业化国家和国际组织都制定了一系列重大事故应急救援法规和政策,明确规定了政府有关部门、企业、工人、社区在事故应急中的职责和作用,并成立了相应的应急反应机构和政府管理部门。近年来由于全球恐怖事件的不断增多,应急问题层出不穷。应急管理也从传统的应付自然灾害,逐步扩展到了对人为灾害的控制。这一点在发达国家尤其明显。美国是最易遭受恐怖分子袭击的发达国家之一,因而它也是目前世界上在应急管理 with 应急反应方面投入最大的国家。在美国,无论是政府还是民间都建立了不同形式的应急管理机构以及相应的应急反应体系,这其中最为典型的的就是美国紧急事件反应体系以及美国应急管理协会,它们在美国国家安全中发挥了巨大作用。

美国的紧急事件反应体系由众多联邦、州、地方三级政府和民间的不同领域应急计划和预案所构成。这些应急计划和预案通常都规定和安排了应急反应的目标、范围、框架、组织、权责、政策、调动、指挥、实施等,并在不同程度上都涉及政府、私人部门和民间志愿组织应对紧急事件的准备、反应、恢复和减灾的具体分工和安排。部分应急计划和预案相互间存在一定的联系^①。它主要包括下列反应计划:联邦反应计划、国家石油及有害物质污染应急计划、联邦辐射应急反应计划、大规模杀伤性武器事件应急计划和美国政府部门间应对国内恐怖运作设想计划、国家非战

^① 来源: <http://plan.moc.gov.cn:8088/model/page.aspx?pid=667>,“六计划”撑起美国应急反应大厦。

争时期通信支持应急计划、应对生化恐怖行动的联邦反应中医疗卫生服务支持计划。美国的紧急事件反应体系构成了美国国家战略的重要组成部分。

除此之外,美国国家安全委员会旗下的美国应急管理协会近期还推出了旨在针对公共突发事件进行控制的应急互助协议(Emergency Management Assistance Compact, EMAC)。应急管理互助协议是一个美国各州之间针对各种灾害威胁的互助协议,它们都对付一个共同敌人——灾害,其互助范围从飓风到地震,从火灾到毒气泄漏,几乎无所不包。EMAC 具有三个方面的特点:①EMAC 鼓励各州之间相互协作以对付紧急事件。EMAC 提供了一个快速便利的方法从其他州派遣人员和装备协助到受灾地区平息灾难。美国的实践表明,在紧急事件发生时,某个州或者地区发生灾难时,仅仅依靠该地区或者联邦政府的力量很难满足应急需求,而 EMAC 则使得运用超越州际的力量填补需求空缺成为可能。②EMAC 建立了一个牢固的法律基础。寻求 EMAC 帮助已经合法化,这个合作契约规定,寻求 EMAC 帮助的州负责补偿其他参与援助州的人员以及其他费用,这样其他各州在提供援助时就不存在财政和法律上的担心。③EMAC 提供了快速柔性的帮助。EMAC 使得各州可以根据自己的需要(无论是震后救助还是平息恐怖事件)寻求帮助。另一方面,各州都是在能力许可的情况上向受灾州提供帮助。EMAC 的简便操作程序避免了不愉快的官僚争论。至今,美国已经有 47 州和一些地区已经被国会批准加入 EMAC,其他州也正在申请加入 EMAC。EMAC 组织成员的不断扩大充分说明,应急管理已经被地区政府置于十分重要的地位并且正在发挥着巨大作用。

在中国,应急管理不容忽视,2003 年“非典”的肆虐造成数百人伤亡的现实暴露了我国卫生应急防御体系的薄弱。应急管理技能的缺乏,也同样出现在矿井事故、化学物品泄露事故中。众所周知,中国的经济正处于高速发展阶段,国家和地区安全对保证我国经济持续发展至关重要,因为任何一个重大破坏性实践对中国的经济都会产生影响。然而从国家安全角度,中国并没有一个真正意义上类似于美国的应急管理体系,因此当重大事故发生时,我们所表现出的无奈也是必然的。同西方国家相比,我们的不足主要体现在三个方面:首先在应急管理的投入上中国远低于其

他发达国家；其次在应急系统的应用方面，我们的技术水平还显得不够成熟；最后在应急管理的研究方面，我国学者这方面的高水平研究还不多见。在中国，众多灾难事件留给我们的思考是，建立我国的应急管理机制问题是一件刻不容缓的事情。

应急管理不仅在国家或者地区层面上，而且还在企业的运作中占有极其重要的地位。公司面临威胁，常常是因为发生了一些突发事件。美国竞争情报学会在对 140 位公司战略家的调查中发现，绝大多数公司近 5 年内发生极其严重后果的事件平均每个公司多达 3 起，面对如此环境，企业应该如何应对？Leonard Fuld 认为对企业进行应急管理十分必要。进一步，他认为可以利用预警系统来完成，其主要步骤包括三条：首先进行情景分析，然后布哨监视，最后是加快决策^①。容易发现这一解决方案仅涉及应急管理中的预警问题，不能涵盖应急管理的全部。事实上，对于一个企业，紧急事件发生后的处理与应对也是非常重要的，很多人把这类问题归为企业危机管理的范畴。从现有文献来看，目前危机管理所涉及的研究一般针对可能会对公司产生生死攸关影响的事件，如一个公司因为生产了不合格产品被媒体曝光，企业必须正确应对，否则就会引发品牌危机，甚至倒闭。基于这些问题的考虑，我们认为，某种意义上，应急管理包含了比危机管理更加广泛的含义。比如当企业的生产原材料出现缺货，如何给出一个最优方案以使得停产损失达到最小？这是应急管理而非危机管理需要考虑的问题。因此，从微观层面来看，应急管理对公司而言也是非常重要的。

正是由于应急管理包含了十分广泛的研究主题，因而聚焦某个领域进行探讨就显得非常重要。本书主要针对应急管理的基础性问题进行研究，其研究意义主要在于：

第一，为管理者提供了一般意义上应急选址的研究方案。选址本身是一个非常经典的问题，有成熟的模型进行解决，然而应急选址问题与传统选址问题具有不同的优化约束与目标，前者时效性可能非常重要，而后者则更加关注的只是成本，这就需要在建模技术和方案求解上寻求突破，所以考虑限制期约束下的选址问题对应急管理者而言具有更现实的

^① Leonard Fuld: 你的公司有预警系统吗？哈佛商业评论，2004 年 2 月。

意义。

第二,实现对应急调度方案的优化。在美国,EMAC 鼓励各州之间相互协作,派遣资源(人员和装备)以对付应急事件。当事故发生时,选择哪些州提供帮助?这些参与应急的州需要提供哪些资源?这是应急管理者必须解决的一个比较现实的问题,该问题本质上是一个组合优化问题,而且可以推广运用到其他应急管理领域。正是因为应急调度方案的优劣直接会影响到成本与应急管理的效果,因此优化调度方案的求取就显得非常重要。

1.1.3 国内外研究现状

应急管理的范畴相当广泛,而被作为研究对象的应急系统,往往针对那些紧急、突发的,如果不加控制将带来严重后果的破坏性事件。即便如此,应急系统的应用范围仍然非常广泛。国内外这方面的研究也非常丰富,下面对国内外的最新研究动态及主要研究成果给予说明。

C. Subramania 和 S. Kerpedjiev 1998 年建立了从气象信息发布到信息获取的模型结构,这使得应急管理者能够迅速、准确地获取可能到来的灾害信息。并且,通过集成各种应急决策工具,管理者能够正确地制定出对付灾害的应急反应计划^[6]。

K. Zografos, C. Douligieris 和 P. Tsoumpas 1998 年提出了电力公司管理应急事件的集成逻辑框架,其中包含三方面的优化决策:①对服务维护单元(service restoration units, SRUs)数目的估计;②每个 SRU 责任区域的定义;③SRU 的派遣策略。他们的研究成果已成功应用于美国某电力公司。

J. L. Wybo 1998 年研制了预防和营救森林火灾的决策支持系统,通过应用计算机系统实现对火灾的监控。该系统的新颖之处表现在对不同国家的多个营救小组的数据共享和信息互联^[1]。

Suleyman Tufekci 和 William A. Wallace 1998 年把应急管理对水灾的影响分为五个部分(图 1.1),指出了应急管理的重要性,并且强调即使是最微小的应急准备也可能对人类产生有意义的影响^[7]。

G. F. List 和 M. A. Turnquist 1998 年建立了放射性物品运输的多目标数学模型,该模型涉及运输目的地的确定及运输路线的选择,其中考虑

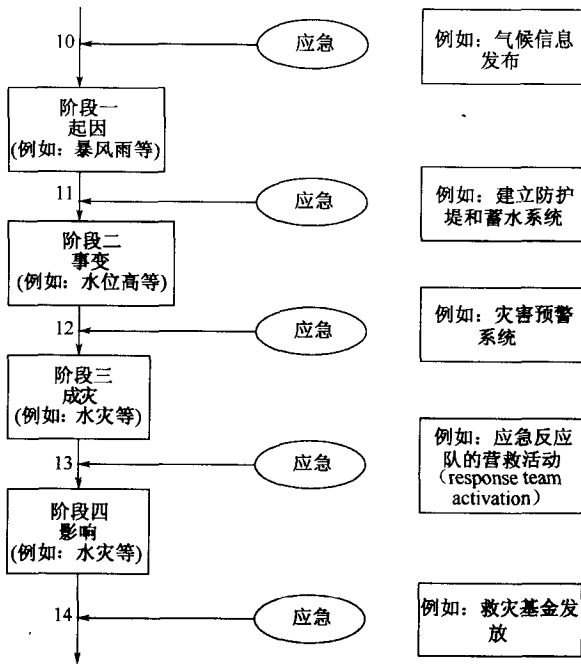


图 1.1 应急管理对水灾的影响

了出现事故时的应急反应问题^[8]。

Suleyman Tufekci 和 William A. Wallace 1998 年作为权威的应急管理专家指出应急管理本质上是一个复杂的多目标优化问题。在应急资源限制的情况下,必须要解决资源的折中利用问题^[9]。

此外,Josefa Z. Hernandez 和 Jane M. Serrano^[113]考虑到目前的需要和技术,提出了利用先进的知识模型来支持应急管理——应急管理知识模型,如图 1.2,该模型已经成功地应用到了西班牙的水灾管理中。

Włodzimierz 2001 年考虑了应急服务设施选址的双目标模型——综合考虑中心点和中位点目标函数,并将它转化为 λ 参数的 cent-dian 单目标模型,并指出了 λ 参数的单目标模型应用到一般网络中的缺点。为了避免这些缺点,将它转化为 Chebyshev λ 参数的单目标模型。这种