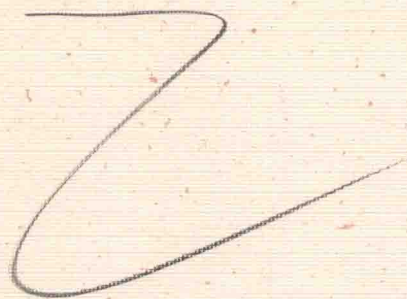


基于局域特征的 复杂网络级联失效模型研究

马翊华 著



中国社会科学出版社

基于局域特征的 复杂网络级联失效模型研究

马翊华 著



中国社会科学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

基于局域特征的复杂网络级联失效模型研究/马翊华著. —北京:
中国社会科学出版社, 2018. 4

ISBN 978 - 7 - 5203 - 2323 - 9

I. ①基… II. ①马… III. ①灾害管理 IV. ①X4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 073306 号

出 版 人 赵剑英
责任编辑 彭莎莉
责任校对 林福国
责任印制 张雪娇

出 版 中国社会科学出版社
社 址 北京鼓楼西大街甲 158 号
邮 编 100720
网 址 <http://www.csspw.cn>
发 行 部 010 - 84083685
门 市 部 010 - 84029450
经 销 新华书店及其他书店

印 刷 北京君升印刷有限公司
装 订 廊坊市广阳区广增装订厂
版 次 2018 年 4 月第 1 版
印 次 2018 年 4 月第 1 次印刷

开 本 710 × 1000 1/16
印 张 14.75
字 数 220 千字
定 价 58.00 元

凡购买中国社会科学出版社图书, 如有质量问题请与本社营销中心联系调换

电话: 010 - 84083683

版权所有 侵权必究

责任编辑：彭莎莉

封面设计： 大鹏设计
010-81574849

本书由河北经贸大学学术著作出版基金资助

前言

频繁发生的灾难性事件，如 2003 年北美电网大崩溃事件、2008 年我国雪灾造成的电力中断和交通瘫痪等连锁事件、1997 年爆发的亚洲金融风暴等都可以归结为是复杂网络上的级联失效导致的。因此，防止灾害在网络上的传播，提高网络的抗毁性，使网络级联失效的研究具有重要的现实意义；而级联失效研究的基础和关键是级联失效的理论建模，级联失效理论建模的研究对分析、预防和控制级联失效有重要的理论意义。

本书将负荷作为网络级联失效产生和蔓延的最重要的物理量，归纳整理了影响级联失效的关键要素，采用系统分析法构建了网络级联失效的分析框架；并基于复杂网络理论，从网络的局域特征视角、考虑负荷分配费用的再分配策略、引入保护措施延迟移除失效节点和容量与初始负荷的非线性关系这几个基本观点出发，对级联失效的发生机理和传播过程进行了系统建模。通过在不同网络拓扑结构上仿真分析不同模型的级联失效过程，对比最后网络稳定时的连通性，以此来判断何种模型抵制级联失效的抗毁性最强。

本书围绕网络的局域特征和容量与初始负荷的非线性关系这两个方面，针对复杂网络上级联失效理论模型研究中存在的一些问题，对复杂网络上的级联失效现象进行了研究，得到了一些新成果。本书的创新点归纳如下：

- (1) 归纳整理了影响级联失效的关键要素，依据网络上级联失效的过程，分析了关键要素之间的内在逻辑关系，提出了网络级联失效的通用分析框架。

(2) 从网络局域特征和容量与初始负荷的非线性关系这两个方面,以基于节点和基于边的局域特征网络级联失效的两个模型为基础,提出了基于点边局域特征的混合动态网络级联失效模型。避免了现实网络获取全局信息的困难,同时对容量与初始负荷的非线性定义更符合现实网络的情况。

(3) 基于局域负荷分配费用优化的网络级联失效模型,改进了基于点边局域特征的混合动态网络级联失效模型,依据负荷再分配费用最优策略对失效节点(边)负荷进行重分配,弥补了原模型中缺乏对网络级联失效运营成本考虑的局限性。

(4) 将基于局域的保护措施引入基于局域负荷分配费用优化的网络级联失效模型中,提出了基于局域分流的抵制网络级联失效的策略,既能延迟失效节点的移除,又能使失效节点(边)负荷重分配费用最优,同时对网络抵制级联失效的抗毁性也有所改善。

目 录

第一章 绪论	(1)
第一节 问题提出与主要研究问题	(1)
一 问题的提出	(1)
二 主要研究问题	(3)
第二节 研究目标与研究意义	(4)
第三节 研究方法与研究思路	(4)
第四节 本书主要内容与结构安排	(6)
第二章 文献综述	(10)
第一节 复杂网络研究概况	(10)
一 复杂网络的基本概念	(11)
二 复杂网络的基本统计特性	(13)
三 典型网络的演化模型	(18)
第二节 复杂网络级联失效研究综述	(21)
一 基于仿真方法的级联失效研究	(24)
二 基于解析方法的级联失效研究	(31)
第三节 网络级联失效研究存在的局限	(35)
第三章 网络级联失效的分析框架与形式化模型	(37)
第一节 网络级联失效的影响因素	(37)
第二节 网络级联失效的通用分析框架	(38)
第三节 本书主要观点和形式化模型	(42)

第四章 基于点边局域特征的网络级联失效模型研究	(45)
第一节 引言	(45)
第二节 基于节点局域特征的网络级联失效模型研究	(49)
一 模型描述	(49)
二 构建典型网络拓扑结构	(51)
三 模型仿真与讨论	(52)
第三节 基于边局域特征的网络级联失效模型研究	(60)
一 模型描述	(60)
二 模型仿真与讨论	(62)
第四节 基于点边局域特征的混合动态网络级联失效模型研究	(67)
一 模型描述	(67)
二 模型仿真与讨论	(70)
第五节 上述三种模型的综合分析	(79)
第六节 本章小结	(82)
第五章 基于局域负荷分配费用优化的网络级联失效模型研究	(84)
第一节 引言	(84)
第二节 模型描述	(85)
第三节 构建典型网络拓扑结构	(87)
第四节 模型仿真与讨论	(88)
第五节 本章小结	(125)
第六章 基于局域分流的抵制网络级联失效策略研究	(127)
第一节 引言	(127)
第二节 模型描述	(128)
第三节 模型仿真与讨论	(133)
第四节 本章小结	(171)

第七章 基于局域特征的网络级联失效模型的实例分析	(172)
第一节 引言	(172)
第二节 某快递企业公路配送网络的构建及复杂性 分析	(173)
第三节 基于点边局域特征的网络级联失效模型的 实例分析	(176)
一 基于节点局域特征的网络级联失效模型 实例分析	(176)
二 基于边局域特征的网络级联失效模型实例 分析	(179)
三 基于点边局域特征的混合动态网络级联失效 模型实例分析	(181)
第四节 基于局域负荷分配费用优化的网络级联失效 模型实例分析	(185)
第五节 基于局域分流的抵制网络级联失效策略实例 分析	(199)
第六节 本章小结	(213)
第八章 研究结论和研究展望	(215)
第一节 研究结论	(215)
第二节 创新点	(219)
第三节 研究局限	(220)
第四节 研究展望	(221)

图目录

图 1.1	本书研究思路	(5)
图 1.2	结构安排	(7)
图 3.1	网络级联失效的通用分析框架.....	(39)
图 3.2	形式化模型	(44)
图 4.1	节点模型参数 γ 和 g 以及 α 和 γ_c 的关系	(54)
图 4.2	节点模型当 $\beta = 1$ 时参数 γ 和 g 以及 δ 和 γ_c 的 关系	(56)
图 4.3	节点模型当 $\beta = 0.01$ 时参数 γ 和 g 以及 δ 和 γ_c 的 关系	(58)
图 4.4	边模型参数 γ 和 g 以及 θ 和 γ_c 的关系	(63)
图 4.5	边模型参数 γ 和 g 以及 δ 和 γ_c 的关系	(66)
图 4.6	点边模型固定点时参数 γ_e 和 g_e 以及 θ 和 γ_{ec} 的 关系	(72)
图 4.7	点边模型固定边时参数 γ_n 和 g_n 以及 α 和 γ_{nc} 的 关系	(74)
图 4.8	点边模型固定点时参数 γ_e 和 g_e 以及 δ_e 和 γ_{ec} 的 关系	(76)
图 4.9	点边模型固定边时参数 γ_n 和 g_n 以及 δ_n 和 γ_{nc} 的 关系	(78)
图 5.1	分配费用优化模型固定点时参数 γ_e 和 g_e 以及 θ 和 γ_{ec} 的 关系	(90)

图 5.2	分配费用优化模型固定边时参数 γ_n 和 g_n 以及 α 和 γ_{nc} 的关系	(91)
图 5.3	分配费用优化模型固定点时参数 γ_e 和 g_e 以及 δ_e 和 γ_{ec} 的关系	(93)
图 5.4	分配费用优化模型固定边时参数 γ_n 和 g_n 以及 δ_n 和 γ_{nc} 的关系	(95)
图 6.1	局域分流策略固定点时参数 γ_e 和 g_e 以及 θ 和 γ_{ec} 的关系	(135)
图 6.2	局域分流策略固定边时参数 γ_n 和 g_n 以及 α 和 γ_{nc} 的关系	(136)
图 6.3	局域分流策略固定点时参数 γ_e 和 g_e 以及 δ_e 和 γ_{ec} 的关系	(138)
图 6.4	局域分流策略固定边时参数 γ_n 和 g_n 以及 δ_n 和 γ_{nc} 的关系	(140)
图 7.1	某民营快递企业的公路配送网络	(174)
图 7.2	公路配送网络的节点度分布	(175)
图 7.3	公路配送网络节点模型参数 γ 和 g 以及 α 和 γ_c 的关系	(177)
图 7.4	公路配送网络节点模型当 $\beta = 1$ 时参数 γ 和 g 以及 δ 和 γ_c 的关系	(178)
图 7.5	公路配送网络节点模型当 $\beta = 0.01$ 时参数 γ 和 g 以及 δ 和 γ_c 的关系	(178)
图 7.6	公路配送网络边模型参数 γ 和 g 以及 θ 和 γ_c 的关系	(179)
图 7.7	公路配送网络边模型参数 γ 和 g 以及 δ 和 γ_c 的关系	(180)
图 7.8	公路配送网络点边模型固定点时参数 γ_e 和 g_e 以及 θ 和 γ_{ec} 的关系	(181)
图 7.9	公路配送网络点边模型固定边时参数 γ_n 和 g_n 以及 α 和 γ_{nc} 的关系	(182)

- 图 7.10 公路配送网络点边模型固定点时参数 γ_e 和 g_e 以及 δ_e 和 γ_{ec} 的关系 (183)
- 图 7.11 公路配送网络点边模型固定边时参数 γ_n 和 g_n 以及 δ_n 和 γ_{nc} 的关系 (184)
- 图 7.12 公路配送网络分配费用优化模型固定点时参数 γ_e 和 g_e 以及 θ 和 γ_{ec} 的关系 (186)
- 图 7.13 公路配送网络分配费用优化模型固定边时参数 γ_n 和 g_n 以及 α 和 γ_{nc} 的关系 (187)
- 图 7.14 公路配送网络分配费用优化模型固定点时参数 γ_e 和 g_e 以及 δ_e 和 γ_{ec} 的关系 (188)
- 图 7.15 公路配送网络分配费用优化模型固定边时参数 γ_n 和 g_n 以及 δ_n 和 γ_{nc} 的关系 (189)
- 图 7.16 公路配送网络局域分流策略固定点时参数 γ_e 和 g_e 以及 θ 和 γ_{ec} 的关系 (200)
- 图 7.17 公路配送网络局域分流策略固定边时参数 γ_n 和 g_n 以及 α 和 γ_{nc} 的关系 (201)
- 图 7.18 公路配送网络局域分流策略固定点时参数 γ_e 和 g_e 以及 δ_e 和 γ_{ec} 的关系 (202)
- 图 7.19 公路配送网络局域分流策略固定边时参数 γ_n 和 g_n 以及 δ_n 和 γ_{nc} 的关系 (203)

表目录

表 4.1	基于局域特征三个模型的仿真结果比较	(82)
表 5.1	分配费用优化模型固定点时 BA 无标度网络的抗毁性 与费用比较(线性)	(97)
表 5.2	分配费用优化模型固定点时 NW 小世界网络的抗毁性 与费用比较(线性)	(99)
表 5.3	分配费用优化模型固定点时 ER 随机网络的抗毁性 与费用比较(线性)	(101)
表 5.4	分配费用优化模型固定边时 BA 无标度网络的抗毁性 与费用比较(线性)	(103)
表 5.5	分配费用优化模型固定边时 NW 小世界网络的抗毁性 与费用比较(线性)	(106)
表 5.6	分配费用优化模型固定边时 ER 随机网络的抗毁性 与费用比较(线性)	(109)
表 5.7	分配费用优化模型固定点时 BA 无标度网络的抗毁性 与费用比较(非线性)	(112)
表 5.8	分配费用优化模型固定点时 NW 小世界网络的抗毁性 与费用比较(非线性)	(114)
表 5.9	分配费用优化模型固定点时 ER 随机网络的抗毁性 与费用比较(非线性)	(116)
表 5.10	分配费用优化模型固定边时 BA 无标度网络的抗毁性 与费用比较(非线性)	(118)

表 5.11	分配费用优化模型固定边时 NW 小世界网络的抗毁性 与费用比较(非线性)	(121)
表 5.12	分配费用优化模型固定边时 ER 随机网络的抗毁性 与费用比较(非线性)	(123)
表 6.1	局域分流策略固定点时 BA 无标度网络的抗毁性 与费用比较(线性)	(141)
表 6.2	局域分流策略固定点时 NW 小世界网络的抗毁性 与费用比较(线性)	(144)
表 6.3	局域分流策略固定点时 ER 随机网络的抗毁性 与费用比较(线性)	(146)
表 6.4	局域分流策略固定边时 BA 无标度网络的抗毁性 与费用比较(线性)	(148)
表 6.5	局域分流策略固定边时 NW 小世界网络的抗毁性 与费用比较(线性)	(151)
表 6.6	局域分流策略固定边时 ER 随机网络的抗毁性 与费用比较(线性)	(154)
表 6.7	局域分流策略固定点时 BA 无标度网络的抗毁性 与费用比较(非线性)	(157)
表 6.8	局域分流策略固定点时 NW 小世界网络的抗毁性 与费用比较(非线性)	(159)
表 6.9	局域分流策略固定点时 ER 随机网络的抗毁性 与费用比较(非线性)	(162)
表 6.10	局域分流策略固定边时 BA 无标度网络的抗毁性 与费用比较(非线性)	(164)
表 6.11	局域分流策略固定边时 NW 小世界网络的抗毁性 与费用比较(非线性)	(166)
表 6.12	局域分流策略固定边时 ER 随机网络的抗毁性 与费用比较(非线性)	(168)
表 7.1	公路配送网络分配费用优化模型固定点的抗毁性 与费用比较(线性)	(190)

表 7.2	公路配送网络分配费用优化模型固定边的抗毁性 与费用比较(线性)	(192)
表 7.3	公路配送网络分配费用优化模型固定点时的抗毁性 与费用比较(非线性)	(195)
表 7.4	公路配送网络分配费用优化模型固定边时的抗毁性 与费用比较(非线性)	(197)
表 7.5	公路配送网络局域分流策略固定点的抗毁性 与费用比较(线性)	(204)
表 7.6	公路配送网络局域分流策略固定边的抗毁性 与费用比较(线性)	(206)
表 7.7	公路配送网络局域分流策略固定点时的抗毁性 与费用比较(非线性)	(209)
表 7.8	公路配送网络局域分流策略固定边时的抗毁性 与费用比较(非线性)	(211)

第一章 绪论

第一节 问题提出与主要研究问题

一 问题的提出

近几年,一些突发事件频繁发生,如2003年8月美国俄亥俄州某地3条超高压输电线由于相继过载致使烧断,这引起北美的8个州和2个省发生了大面积停电事故,使得上千万居民陷入黑暗中,经济损失估计高达300亿美元^①。2006年12月26日20时在台湾南部海域发生的里氏7.2级和6.7级有感地震致使多条国际海底通信光缆断裂,这造成了整个亚太地区互联网大规模的瘫痪,也致使多个国家和地区的通信业务大范围中断,这一事故严重影响了商贸、金融等行业的正常业务,造成了严重的经济损失^②。2008年1月我国南方地区遭遇大范围、长时间的冰雪天气,湖南郴州的一座输电塔倒塌,致使配电所跳闸断电,行驶至湖南耒阳的N582次列车失去电力,进而导致湖南地区的交通瘫痪、电网崩溃、人员滞留等问题,而交通瘫痪和电网崩溃又使得一些地区燃料告急、供水停止、食物紧张……^③这些突发事件造成了大规模的灾难性后果,给人们的生产生活造成了极为不

^① Albert R., Albert I., Nakarado G. L., "Structural vulnerability of the North American power grid", *Physics Review E*, 2004, 69 (2): 25 - 103.

^② 欧阳敏:《复杂系统崩滞过程的分析与控制》,博士学位论文,华中科技大学,2009年。

^③ 孙可、韩祯祥、曹一家:《复杂电网连锁故障模型评述》,《电网技术》2005年第29(13)期。