

城市生命线系统暴雪冰冻灾害链分析^{*}

周 靖, 马石城, 赵卫锋

(湘潭大学 土木工程系, 湖南 湘潭 411105)

摘 要: 预防和减轻城市生命线系统的灾害危险性是防灾减灾中的热点问题。随着自然灾害突发强度、频度和广度的不断增长, 自然灾害预防工作显得尤为重要。城市作为人口集聚、国民经济、社会发展重要区域和战略中心, 自然灾害带来的损失是剧烈、致命的, 亟待开展城市生命线系统灾害风险研究。通过对低温暴雪冰冻灾害特点的分析和总结, 提出用灾害链理论来研究城市生命线系统的暴雪冰冻灾害问题。介绍了城市生命线系统灾害的相关概念, 分析了城市生命线系统暴雪冰冻灾害链的致灾原因、形成过程和主要灾害链类型, 最后论述了防灾减灾对策。

关键词: 冰雪灾害; 生命线系统; 灾害链; 防灾减灾; 城市

中图分类号: X43 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-811X(2008)04-0039-06

城市尤其是大城市是人类改造最大的社会环境, 气象灾害从形成到发展、演变都在城市中具有很多典型特征, 灾害的影响和损失也比一般地区大。例如 2008 年初, 肆虐湖南等南方地区的冰雪灾害已经引发了人们对城市生命线系统抗灾能力和城市公共危机的一系列多维审视。随着目前城市经济、生产规模的不断扩大, 城市化水平的不断提高, 城市区域任何一种灾害的发生, 都可能对其周围环境, 包括与其发生广泛联系的其他系统, 产生多种多样的影响, 进而为其他事物或现象的发生提供条件。重大灾害中, 对城市威胁最大的莫过于对城市生命线系统的危害, 由于生命线系统包括由若干环节组成的多种多样的结构类型, 其中任何环节破坏都可能影响整个城市系统的功能。因此, 研究城市生命线系统综合防灾能力已经成为城市公共安全和城市可持续发展关注的重要内容。

目前, 针对低温暴雪冰冻天气开展城市生命线系统灾害研究的工作并不多见。本文以 2008 年年初湖南等南方地区的低温暴雪冰冻灾害为背景, 依据灾害系统理论与灾害链的形成规律, 初步分析和总结城市生命线系统暴雪冰冻灾害链的成灾机制和防灾减灾对策, 为暴雪冰冻灾害的灾害风险研究提供新的思路和方法。

1 自然灾害链与城市生命线系统概念

1.1 自然灾害链

重大自然灾害一旦发生, 极易借助自然生态系统或城市生命线系统之间相互依存、相互制约的关系, 产生连锁效应, 由一种灾害引发出一系列灾害, 从一个地域空间扩散到另一个更广阔的地域空间, 这种呈链式有序结构的大灾传承效应称为连发灾害或灾害链。例如, 1960 年 5 月 22 日智利接连发生了 7.7 级、7.8 级、8.5 级三次大震, 而在瑞尼赫湖区则引起了 300 万 m^3 、600 万 m^3 和 3 000 万 m^3 的 3 次大滑坡; 这次地震还引起了巨大的海啸, 在智利附近的海面上浪高达 30 m, 海浪以 600~700 km/h 的速度扫过太平洋, 抵达日本时仍高达 3~4 m, 结果使得日本 1 000 多所住宅被冲走, 1 330 hm^2 多良田被淹没, 15 万人无家可归。由这次地震所引起的海啸、水灾则构成了另一个灾害链。以上这两个灾害链, 是具有直接因果关系的。还有一些接连发生的灾害, 虽然没有直接的因果关系, 但或在成因上是同源, 或在空间分布上是同地。

灾害链中各灾害事件在时间上、空间上和在发生机理上密切相关, 链中诸灾害之间相互渗透、相互作用、相互影响、相互之间以及与环境进行

^{*} 收稿日期: 2008-05-12

基金项目: 湖南省科技计划项目(2007CK3066)

作者简介: 周靖(1974-), 男, 湖南沅江人, 博士, 讲师, 主要从事防灾减灾工程方面的研究. E-mail: jingzhchina@xtu.edu.cn

着物质、能量和信息的交换，形成相互联系、相互制约的复杂的反馈系统。根据灾害链的基本特征再综合系统观点，广义灾害链定义为包括一组灾害元素的一个复合体系，链中诸灾害要素之间和灾害的子系统之间存在着一系列自行连续发生反应的相互作用，其作用的强度使该组灾害要素具有整体性^[1]。灾害链通常包括原生灾害及其引起的一种或多种次生灾害。所谓原生灾害是指由动力活动或环境异常变化直接形成的自然灾害；次生灾害是由原生灾害引起的“连带性”或“延续性”灾害多灾相关的灾害链。自然灾害发生之后，破坏了人类生存的和谐条件，由此还可以导生出一系列其他灾害，这些灾害泛称为衍生灾害。如大地震的发生使社会秩序混乱，出现烧、杀、抢等犯罪行为，使人民生命财产再度遭受损失；次生灾害与衍生灾害有时比原生灾害的危害还大。因此，防止次生灾害与衍生灾害的发生与蔓延也是减灾的重要内容之一。灾害发生后多灾种相联、相互作用的事实及其后果，使现在越来越多的研究者由对单一灾害的研究转向对灾害链的研究。

1.2 城市生命线系统及其相互作用

城市生命线系统是确保城市居民生活条件，维系现代城市功能与区域经济功能的网络状公共工程，主要包括城市的电力、煤气、给排水、交通、通信、热力等系统。在重大灾害袭击下，生命线的破坏及其引发的重大次生灾害，可以导致区域与城市社会、经济功能的瘫痪。在各类自然灾害中，强烈地震是对生命线系统威胁最大的灾害。地震威胁不仅体现在各类生命线系统会在强烈地震中遭受严重破坏，而且生命线系统的功能丧失会在地震后引发火灾、爆炸等一系列严重的次生灾害。与此同时，如爆炸和低温雨雪冰冻灾害等突发性灾难性事件，也是城市生命线系统所面临的严重的灾害事件。

城市生命线系统间具有互用性、互制性、互替性、近距离共存性等特性。尽管不同的生命线各成系统且各自独立运行，但当灾害发生后，各生命线之间产生的构造、机能、恢复障碍与诱发次生灾害等多种影响，会加重生命线的总体灾害^[2]。例如，供水系统的正常运转离不开供电系统的支持，交通系统中桥梁的坍塌将导致布设于桥梁之上的通信电缆的破坏。一个生命线系统的可靠性，除了与系统自身的抗灾性能有关外，还取决于对该系统起支持作用的或物理上与该系统相邻布设的其它生命线系统的抗灾性能^[3]，如图 1 所示的供水与供电系统间

的相互作用。显然，生命线系统之间的相互作用将直接影响到生命线系统灾害损失的预测、灾后损失的评估、生命线工程系统设防标准的制定、灾后应急工作的部署和次生灾害控制的策略以及救灾资源的合理分配等等。

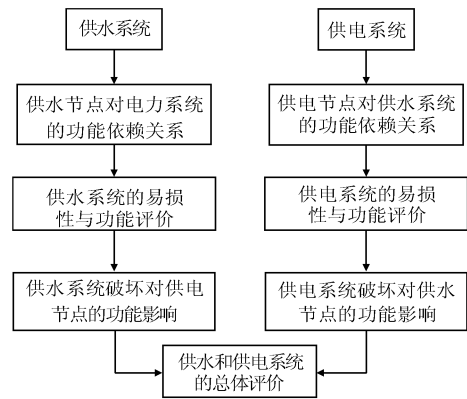


图 1 供水与供电系统间的相互作用

城市生命线系统的电力系统、交通系统、通信系统、供水和污水处理系统、气体和液体燃料输送系统之间存在有机联系，以整体支持着城市的功能，如图 2 所示^[2]。在重大灾害发生时具体某个系统的破坏，其影响也不是单一的，可以波及到整个生命线系统，形成生命线系统次生灾害链。由于城市的不断发展，对生命线系统的依赖程度已经越来越强烈，因此城市生命线系统的灾害预测和应急处理就显得尤为重要，而了解各子系统之间的相互关系和作用则是进行生命线系统灾害分析的前提。从图 2 可以看出，任何一个子系统遭到破坏都会影响到其它子系统的正常工作，尤其是电力系统的破坏对其它系统的影响更是十分严重，如表 1 所示^[5]。综合国内外几种分类方法^[4-6]，可将城市生命线系统灾害的相互作用，划分为几种类型，如表 2 所示。

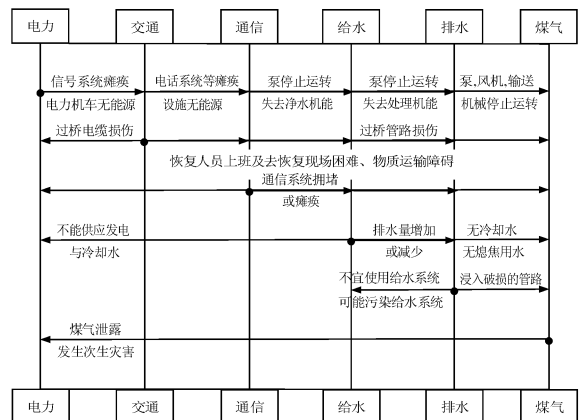


图 2 城市生命线系统灾害的主要影响形式

表 1 城市生命线系统相互影响的相对重要性系数

系统名称	供电系统	通信系统	交通系统	供水系统	供气系统
权数	0.348	0.261	0.261	0.087	0.043

表 2 城市生命线系统灾害的相互作用类型

类型	相互作用类型	解释说明
A	功能型相互作用	两系统因功能上的依存, 造成一个系统的失效使得另一系统也无法正常发挥作用
B	布设型相互作用	一个系统的失效对相邻布设的另一个系统产生影响或直接造成损害
C	替换型相互作用	一个系统的失效造成对其可替换系统的过量需求
D	恢复型相互作用	灾后恢复过程中有关的生命线系统恢复程序计划、修复进度安排方面的冲突
E	递增型相互作用	起始阶段的问题递增式地对一个生命线系统产生影响
F	广义相互作用	从广义上来说, 生命线系统相互还可以包括生命线系统内部元件之间的相互作用。另外, 某些生命线系统的宿主结构物和固定支撑物也可看作为“辅助设施生命线”

2 城市生命线系统冰雪灾害链成灾机制

我国中部、南方地区暴雪冰冻灾害并不少见^[7,8], 然而针对暴雪冰冻天气的生命线系统灾害预测和分析方法未见相关报道。为了便于采取有效措施预防和减轻暴雪冰冻灾害对城市生命线系统产生的危害, 用灾害链理论方法来综合研究生命线系统的灾害不失为有效的方法之一。

2.1 城市区域灾害系统

按照灾害系统理论^[10,11], 灾害是地球表层孕灾环境(E)、致灾因子(H), 承灾体(S)综合作用的复合体系(D), 即 $D = E \cap H \cap S$, 如图 3 所示。随着对自然灾害认识地深入, 人们尝试从不同角度对灾害的属性进行了探讨和研究: 基于灾害系统之间的因果关系进行灾害系统分类研究; 对广义灾害链、因果链、同源链、串联型灾害链、并联型灾害链、混联型灾害链、大气灾害链等类型进行了初步探讨。目前, 对灾害链式效应的探讨研究更多的是从因果关系、连锁反应出发, 定性分析灾害之间的相关性。城市区域灾害系统有串发性灾害链和并发性灾害链, 前者是指由单一致灾因子引发的一连串灾害事件的发生(图 4); 后者则是指由于某种诱发原因导致某个地区在某一时段很多种致灾因子群发, 并相应引起多种连串的危害事件的发生(图 5)。

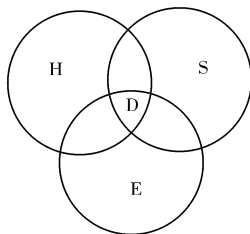


图 3 城市区域灾害系统

生命线系统相互作用在灾害中是必然存在的, 也相当复杂的。进行生命线系统的灾害分析, 正确把握它们之间的链式关系是非常重要的。

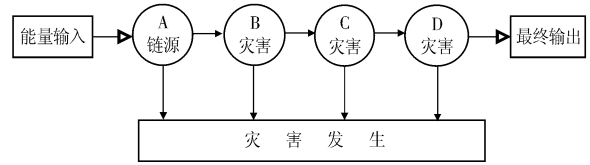


图 4 串联型灾害链示意图

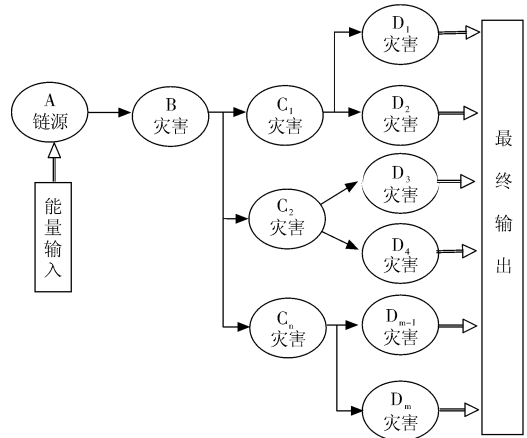


图 5 树枝叶脉灾害链示意图

2.2 城市生命线暴雪冰冻灾害链的形成

2008 年初肆虐我国南方地区的低温暴雪冰冻灾害具有范围广、强度大、持续时间长、灾害影响大等特点, 很多地区为 50 年一遇的低温暴雪冰冻天气, 部分地区为 100 年一遇。这场低温暴雪冰冻灾害是一场特大自然灾害, 它与我国 1976 年的唐山地震、1998 年的特大洪水、2003 年的 SARS 公共卫生事件、美国的 2005 卡特里娜飓风灾害等可以并称为“巨灾”。此次主要发生在我国中南部地区的冰雪灾害, 造成了南北交通动脉的大堵塞, 使铁路、公路和航空运输暂时或局部陷入瘫痪状态, 全国 20 多个省区的上亿灾区人口受灾; 有些地方连续多日停水停电, 有的地方日常物资供应陡然紧张, 有的甚至出现部分受灾人员的伤亡。据有关方面统计, 这次突发性冰雪灾造成的全国直接经济损失达 1 516.5 亿元人民币^[12]。

会直接对环境形成污染,造成生态环境灾难;如果原料和产品是易燃易爆的,遇火就形成火灾,并进一步导致爆炸,燃烧和爆炸生成的烟雾又对环境产生污染。

(3) 公共安全灾害链 停水停电后引发的垃圾堆积、污水处理厂停止运行后带来的环境污染,特别是饮用水源污染后引发的饮用水和食品卫生的污染,诱发流行性疾病甚至瘟疫等公共安全问题。

3 生命线系统灾害的防灾减灾

灾害链的生成与发展,会造成巨大的人员伤亡与财产损失。从防灾减灾的需要出发,应该适时切断灾害链的链条,防止灾害链的延续,把灾害带来的损失降到最小。从灾害链的生成过程来看,从初期的串联模式到后来的并联模式再到单链模式,灾害链形成的速度逐渐加快,所需要的链条逐渐简单,形成灾害链的途径逐渐增多,越来越难以控制。所以应该在其形成的初期就及时切断链条,才可有效的阻止整个灾害链的形成。

从这次冰雪灾害中城市生命线系统灾害链的构成来看,低温雨雪冰冻是其中的原生灾害,是其它灾害的诱发因素。目前,还无法有效控制低温雨雪冰冻的发生,只能加大预防力度,减轻灾害。我们主要应该从以下几方面着手:首先,尽快建立健全重大气象灾害应急处置和信息共享机制。其次,亟须优化和完善灾害预警信息发布渠道。第三,继续加强和提高气象灾害综合监测能力建设。第四,加强极端气象灾害的预警预报和影响评估技术研究。第五,加强应对极端气象灾害科普宣传,提高民众的自救互救能力。

面对国际减轻灾害风险战略与行动的新趋向,着眼全球变暖造成的巨灾风险发生的可能性增加,国家需要加快建立巨灾风险防范体系、全面提高城市生命线系统的抗风险能力^[15]。

(1) 加强应对巨灾的机构建设 美国的联邦紧急救援署、日本的防灾担当大臣及组织、俄罗斯及中亚各国的紧急救援部等,都属于较为强势的机构,而我国的国家减灾委员会则缺乏强有力的实体性组织依托。

(2) 加大应对巨灾的资源储备 在国家已建立救灾物资储备库的基础上,各级政府应加强备灾能力的建设,特别是应对巨灾的物资和装备。

(3) 促进应对巨灾的科技进步,加强应对巨灾

的国际合作 国外这方面有很好的经验值得我们学习,如加拿大、美国等对雪灾都有一套有效的应对方案。应结合国情积极借鉴国外的先进经验,完善我国巨灾应对的政策体系、技术体系、社会动员体系等。

(4) 加强对巨灾的深入研究,完善巨灾应急预案 由于巨灾发生的频率较低,因而缺乏更多的案例进行深入研究。为此,要广泛收集国内外巨灾及其应对的案例,通过深入的对比分析,掌握其形成的机制和影响过程。此外,要深入分析以往应对巨灾的经验教训,全面评估已经启动的各种应急预案,充分吸收国内外对巨灾的研究成果,科学制定巨灾防范的对策和巨灾应急预案。

参考文献:

- [1] Menoni S, Pergalani F, Boni MP, Petrini V. Lifelines earthquake vulnerability assessment: a systemic approach [J]. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 2002, 22 (9 - 12): 1199 - 1208.
- [2] 苏幼坡, 马亚杰, 刘瑞兴. 城市生命线地震震害相互影响 [J]. 河北理工学院学报, 2001, 23(2): 84 - 89.
- [3] 汤爱平, 郭明珠, 欧进萍, 等. 生命线系统相互作用下的震害预测方法 [J]. 土木工程学报, 2005, 138(18): 49 - 55.
- [4] 姚保华, 谢礼立, 袁一凡. 生命线系统相互作用及其分类 [J]. 世界地震工程, 2001, 17(4): 48 - 52.
- [5] Charles S, Scawthorn S E. Lifeline interaction and post - earthquake functionality: Case study for fire following earthquake [C]//Proceedings of 5th U. S. - Japan Workshop on Earthquake Disaster Prevention for Lifeline System. 1993, 441 - 450.
- [6] 王飞, 蒋建群. 城市地震灾害综合易损性分析方法探讨 [J]. 地震研究, 2005, 28(1): 95 - 101.
- [7] 杨鹏程. 清代后期湖南的虫灾、风灾、雹灾和冰冻雪灾 [J]. 灾害学, 2004, 19(3): 72 - 75.
- [8] 罗美娟, 刘玲, 唐传师. 1954 - 2005 年南昌市区气象灾害趋势与防御研究 [J]. 气象与环境学报, 2008, 24(1): 9 - 13.
- [9] 高安宁, 陈见, 李艳兰, 等. 2008 年广西罕见凝冻灾害评估及思考 [J]. 灾害学, 2008, 23(2): 83 - 86.
- [10] Mileti DS. Natural hazards and disasters - disaster by design [M]. Washington: Joseph Henry Press, 1999.
- [11] 史培军. 四论灾害系统研究的理论与实践 [J]. 自然灾害学报, 2005, 14(6): 1 - 6.
- [12] 国家减灾中心灾害信息部. 全国灾情月报 [J]. 中国减灾, 2008, (3): 61 - 63.
- [13] 金磊. 城市灾害学原理 [M]. 北京: 气象出版社, 1997.
- [14] 李宏男, 柳春光. 生命线工程系统减灾研究趋势与展望 [J]. 大连理工大学学报 [J]. 2005, 45(6): 931 - 936.
- [15] 史培军. 建立巨灾风险防范体系刻不容缓 [EB/OL]. http://www. enorth. com. cn, 2008 - 04 - 16.

Analysis on Disaster Chains of Urban Lifeline System in Heavy Snow-Freezing Weather

Zhou Jing, Ma Shicheng and Zhao Weifeng

(Department of Civil Engineering, Xiangtan University, Xiangtan 411105, China)

Abstract: Prevention and reduction of the hazard risk of urban lifeline system is a hot issue in disaster prevention and mitigation. With the constant increase in intensity, frequency and extent of natural disasters, natural disaster prevention is very important. City is the center of concentrated population, economic and social development and strategic focus and the losses caused by natural disasters in cities are always intensive and fatal. So, it is urgent to carry out the research on hazard risk of the urban lifeline system. Based on the analysis and summary of characteristics of low temperature weather with heavy snow and freezing disasters, disaster-chain theory is recommended to be used in the study on hazard risk of the urban lifeline system. The related concepts of disasters of urban lifeline system are introduced. The causes and process of heavy snow and freezing disasters of urban lifeline system and main types of disaster chains are analyzed. Finally, the strategy for disaster prevention and mitigation is discussed.

Key words: ice-snow disaster; lifeline system; disaster chain; disaster prevention and mitigation; city

(上接第 38 页)

- [9] 陈棋福, 陈颢, 陈凌. 利用国内生产总值和人口数据进行地震灾害损失预测评估[J]. 地震学报, 1997, 19(6): 640-649.
- [10] 张国民, 傅征祥, 王晓青, 等. 确定全国地震重点监视防御区的研究[J]. 中国地震, 2006, 22(3): 209-221.
- [11] 胥广银, 高孟潭, 陈颢, 等. 以地震烈度表征的 2006-2020 年中国地震危险性研究[R]. 中国地震局地球物理研究所, 2006.
- [12] 王晓青, 丁香. 基于 GIS 的地震灾害损失预测系统使用说明[R]. 中国地震局地震预测研究所, 2005.
- [13] 中国地震局. 地震现场工作(第三部分): 调查规范 GB/T 18208.3-2000[S].
- [14] 陕西省统计局. 陕西统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2000-2005.

Study on Earthquake Disaster Losses of Shaanxi Province in the Forthcoming 15 Years

Shao Huicheng^{1,2}, Liu Chun² and Liu Huafeng¹

(1. Department of Engineering Mechanics, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China;

2. Earthquake Administration of Shaanxi Province, Xi'an 710068, China)

Abstract: Based on seismic risk prediction of Shaanxi province and its vicinities and matrix relation of seismic vulnerability established by statistical analysis of nationwide destructive earthquakes, the earthquake disaster losses in Shaanxi province by $0.1^\circ \times 0.1^\circ$ grid units in the forthcoming 15 years are studied with population, GDP basic data and the macroeconomics-based prediction method of earthquake disaster loss.

Key words: earthquake disaster; earthquake disaster loss predication; Shaanxi