

葫芦岛市城市火灾分布的特点及其对城市火险分析的启示

Characteristics of Fire Distribution in Huludao City and Its Enlightenment to City Fire Danger Analysis

宋卫国/SONG Wei-guo¹, 王 强/WANG Qiang^{1,2}, 王 健/WANG Jian¹, 张毛磊/ZHANG Mao-lei¹

1. 中国科技大学火灾科学国家重点实验室, 合肥 230026; 2. 辽宁省葫芦岛市消防支队, 辽宁葫芦岛 125001

1. State Key Laboratory of Fire Science, University of Science and Technology of China, Hefei 230026, China;

2. Huludao Fire Control Detachment, Huludao 125001, Liaoning Province, China

[摘要] 火灾是城市、城镇的主要危害之一,城市火灾动力学关系到人们的生命和财产安全。研究了城市火灾的分布情况以及火灾频率与气象参数的关系,发现城市火灾的频率-尺度分布以及频率-时间间隔分布满足幂律关系。这表明大火灾和小火灾之间存在相互关联,由小火灾的发生频率可以预测大火灾的发生频率。研究火灾频率和气象参数(如温度、湿度)之间的关系,结果表明火灾频率随着某些气象参数变化而变化,并且呈现一定的规律性,说明通过气象参数预测城市火灾发生频率是可行的。所做工作可望揭示城市火灾的一些复杂特征,对城市火灾风险分析也有一定的帮助。

[关键词] 城市火灾,气象参数,火灾分布,火险分析,幂律,自组织临界性

[中图分类号] TK121 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1000-7857(2005)08-0035-03

Abstract : Fire is one of the main disasters in cities and towns. Study on the dynamics of city fires concerns the safety of human lives and properties. In this paper, the distribution of city fires is investigated, as well as the relation between fire frequency and weather. The frequency-size distribution and frequency-interval distribution of city fires are found to satisfy power-law relation, suggesting that there is connection between large and small fires and large fire frequency can be predicted with that of small fire. The correlation between fire frequency and weather parameters such as temperature and humidity is also studied. It is shown that fire frequency changes with these weather parameters, indicating that city fire frequency can be forecasted with weather parameters. The results are expected to reveal the global, complex characteristics of city fires, that is, the dynamics of city fire system. The study is also an approach to compose city fire danger rating method, just like the existent forest fire danger rating method.

Key Words : city fire, weather parameter, fire distribution, fire danger analysis, power-law, self-organized criticality

CLC Number : TK121 **Document Code :** A **Article ID :** 1000-7857(2005)08-0035-03

1 背景

在过去的几十年里,许多研究者一直致力于对自组织临界性(Self-Organized Criticality, SOC)的研究^[1-2]。自组织临界性用来描述可以自发演化到稳定临界状态的系统,这种自发演化与初始条件无关,也不需要系统参数调整到某个特定值。在系统到达稳定状态时,系统能量耗散事件的频率-尺度分布或频率-强度分布满足幂律关系。许多实际的系统和现象,包括地震^[3]、万维网^[4-8]、姓氏分布^[9]、降雨量^[10]、文章引用^[11]、经济活动^[12,13]、人口分布^[14]、物种分布^[15]等等,都具有幂律分布特性。

森林火灾系统是一个典型的自组织临

界性系统^[16]。如果用过火面积来表示森林火灾的尺度,那么森林火灾的频率-尺度分布满足于一个较为准确的幂律关系。经过对美国^[16]、澳大利亚^[16]、中国^[17-19]和意大利^[20]的森林火灾历史数据的分析发现,火灾的频率-尺度分布在跨越多个数量级的火灾面积范围内都符合幂律关系,并且幂指数的值不随时间变化。这表明,森林火灾的幂律分布具有空间不变性和时间不变性。稳定的幂律分布为火灾风险评估和灾害预防提供了重要的信息。比如,可以利用火灾数据来预测未来的火灾发生频率,可以利用中、小火灾的发生频率来预测大火灾的发生频率等。森林火灾系统受到多种因素的影响,

气象参数就是一个典型的因素。降水、温度、湿度、风速等^[21-24]都影响着火灾的发生频率,利用这些气象参数可以对森林火灾发生的危险度进行预测。

与森林火灾系统相比,由于建筑结构的遮挡、人为因素的干预以及城市结构的多样性,城市火灾系统要复杂得多。但是研究表明,城市火灾的分布仍然具有一定的规律性,较大尺度火灾的分布满足幂律关系^[25]。那么,不同尺度的城市火灾是怎样分布的?城市火灾与气象参数的关系是怎样的?针对这些问题,我们分析了辽宁省葫芦岛市详细的城市火灾的分布情况,以及城市火灾与天气情况的关系。

收稿日期:2005-06-17

基金项目:国家自然科学基金(No.30400344)和国家重点基础研究发展规划项目(No.2001CB409600)资助

作者简介:宋卫国,男,安徽省合肥市中国科技大学火灾科学国家重点实验室,副教授,主要研究方向为复杂系统、自组织临界性、非线性时间序列分析;E-mail: wgsong@ustc.edu.cn

2 数据处理方法

葫芦岛市位于东经 $128^{\circ}18'$ 、北纬 $40^{\circ}56'$, 占地面积 $10\,343\text{ km}^2$, 是一个典型的北方城市。葫芦岛市的规模不大, 有利于排除区域分布的不均匀性。我们分析的数据包括该市 2000 年到 2003 年的全部火灾数据, 以及 2004 年的部分火灾数据。数据包括火灾发生的日期及持续时间、火灾损失, 以及 2003 年每天的天气情况 (包括平均温度、最高温度、最低温度、平均湿度、最小湿度、平均风速和最大风速)。自 2000 年到 2003 年, 该市分别发生了 123、159、272 和 163 次火灾; 2004 年 1 月至 9 月, 共有 175 次火灾。

本文利用火灾损失来表示火灾规模。火灾频率 (每年的火灾发生次数) 可由公式 (1) 得出:

$$F=n(L)/Y \quad (1)$$

这里的 $n(L)$ 表示在 Y 年内损失为 L 的火灾的数量。那么, Y 年内损失大于等于 L 的火灾数量为:

$$N_{(L' \geq L)} = \sum_{L'=L}^{L_{\max}} n(L') \propto \int_L^{\infty} n(L') dL' \quad (2)$$

所以

$$n(L) = -dN_{(L' \geq L)} / dL \quad (3)$$

发生频率 F 和损失 L 的关系还可以表示为:

$$F = -dN_{(L' \geq L)}^{\alpha} / dL \quad (4)$$

这里 $N_{(L' \geq L)} = N_{(L' \geq L)} / Y$ 表示损失大于等于 L 的火灾的平均发生频率。如果火灾频率-损失分布满足幂律关系, 则会有

$$F \propto L^{-\alpha} \quad (5)$$

在气象参数与火灾频率关系的研究中, 本文分析了 7 种气象参数与城市火灾频率之间的关系。我们首先得到了 2003 年葫芦岛市每日的气象参数, 然后对每一种参数根据它们的值分成几个区间, 统计出处在每个区间范围内的总天数 N_i 和火灾发生的次数 N_{fi} 。每一区间内火灾发生频率可由下式计算:

$$p = N_{fi} / N_i \quad (6)$$

3 结果与分析

城市火灾的频率-损失分布见图 1 至图 5。

图 1 表示葫芦岛市 2000 年城市火灾频率-损失分布。该分布满足一个比较好的幂律关系, 即在双对数坐标中显示为一条直线, 其斜率 $-\alpha = -1.12 \pm 0.048$ 。火灾频率 F 与火灾损失 L 的关系可表示为:

$$\lg F \propto -1.12 \lg L \text{ 或 } F \propto L^{-1.12}$$

从图 2 至图 5 中可以看出, 2001–2004 年火灾频率-损失分布曲线的斜率分别为 $-\alpha = -1.22 \pm 0.027$ 、 $-\alpha = -1.42 \pm 0.027$ 、 $-\alpha = -1.23 \pm 0.037$ 、 $-\alpha = -1.24 \pm 0.048$ 。

在这 5 幅图中, 火灾频率与火灾损失之间的关系都满足很好的幂律关系, 而且幂律的直线斜率大约在 -1.22 到 -1.42 之间, 平均值为 -1.25 , 标准偏差为 0.11 。这表明, 城市火

灾频率-损失分布所满足的幂律关系是稳定而不随时间变化的。城市火灾受诸多因素影响, 比如人类的活动、燃料类型、电器设备、天气情况、火的使用、生产活动等等; 然而, 火灾的分布却符合一个如此简单的规律。这种现象的定性产生原因和定量的幂律参数, 都将成为城市火灾未来的研究课题。

进一步, 我们分析了气象参数对火灾发生频率的影响。结果如图 6 至图 10 所示。

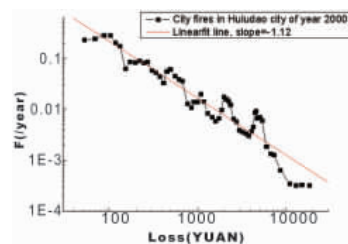


图 1 2000 年葫芦岛市城市火灾频率-损失分布图

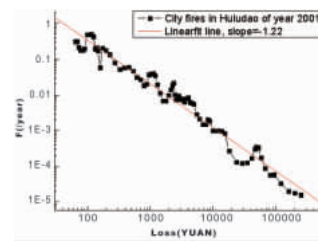


图 2 2001 年葫芦岛市城市火灾频率-损失分布图

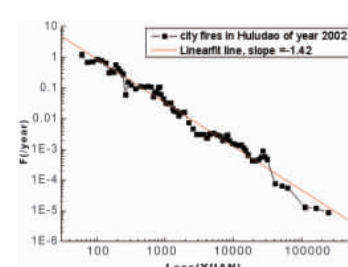


图 3 2002 年葫芦岛市城市火灾频率-损失分布图

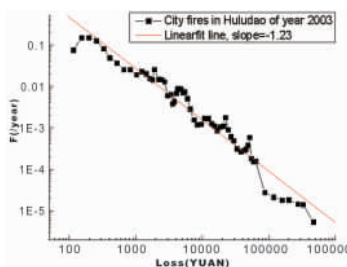


图 4 2003 年葫芦岛市城市火灾频率-损失分布图

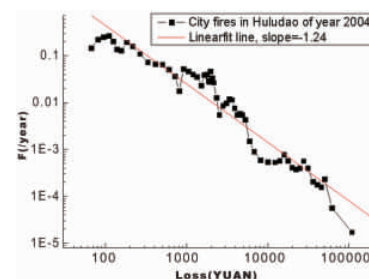


图 5 2004 年葫芦岛市部分城市火灾频率-损失分布图

图 6 显示了火灾发生频率和平均温度之间的关系。图 7 和图 8 给出了火灾发生频率与最大、最小温度之间的关系。从这 3 个图可以看出, 它们之间的关系大致是线性的。图 6 的线性拟合直线为 $p = 0.437\,5 - 0.005\,28x$, 其相关系数 R 为 -0.811 。在图 7 中, 等式可表示为 $p = 0.481\,05 - 0.005\,93x$, R 为 -0.811 。在图 8 中, 拟合方程为 $p = 0.413\,64 - 0.005\,32x$, R 为 -0.853 。

温度与火灾发生频率之间的负相关系数表明, 火灾频率随着温度的升高而减小, 这与温度和森林火灾频率之间的关系相反。这种现象符合中国北方实际情况: 当温度变得比较低的时候, 人们将会利用火、空调或暖气系统供暖; 电器和明火的使用, 势必会引发更多的火灾。另外一个原因是, 每年最寒冷的一月至三月有诸如春节、元宵节等重要传统节日, 这段时间人们燃放烟花爆竹的频率也非常高, 火灾的频率便会相应升高。

火灾频率和湿度之间的关系如图 9 所示, 近似是负的线性关系。最小湿度与火灾频率关系的线性拟合直线方程为 $p = 0.507\,1 - 0.002\,8x$, R 相关系数是 -0.65 。平均湿度线性拟合直线方程为 $p = 0.53 - 0.002\,5x$, 相关系数 R 是 -0.65 。相比于火灾频率与温度之间的关系, 湿度与火灾频率的线性关系较为粗糙。这可能是因为我们采集的仅仅是 1 个城市中 1 年的数据。如果有更多的数据, 这种线性关系可能会更加明显。除此之外, 不管是平均湿度还是最小湿度, 当湿度值为 60% 时, 火灾发生的可能性都比其它湿度区间更大。

从图 10 可以看出, 火灾频率并不随风速的改变而变化, 这是合理的, 因为在城市中风力会受到建筑物的阻挡, 而且大多数城市火灾的发生和蔓延都是在室内进行的。

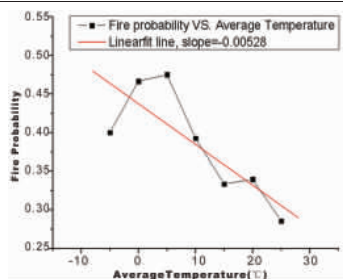


图6 2003年火灾频率随平均温度的变化情况

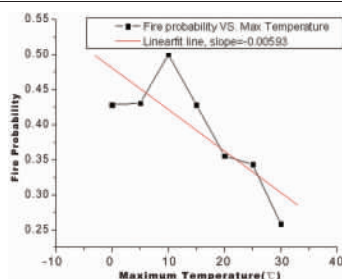


图7 2003年火灾频率随最高温度的变化情况

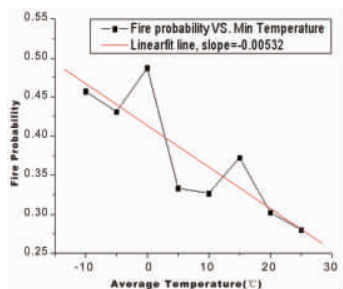


图8 2003年火灾频率随最低温度的变化情况

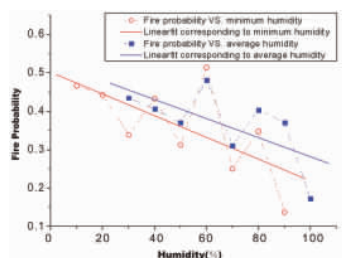


图9 2003年火灾频率随湿度的变化情况

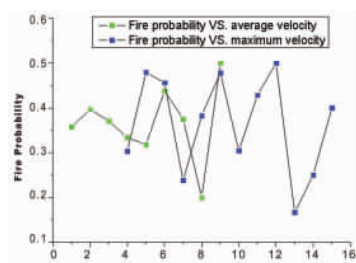


图10 2003年火灾频率随风速的变化情况

4 结论

本文分析了葫芦岛市城市火灾数据和气象参数。研究表明,城市火灾的频率-损失分布满足稳定的、不随时间变化的幂律关系。城市火灾这种稳定的幂律分布有实际意义:可以利用中、小规模火灾来预测大规模火灾的发生频率;可以利用火灾历史数据预测未来的火灾分布。为了预测和分析城市火险,需要对火灾频率与气象参数之间的关系做定量的研究。尽管文中分析的火灾和天气情况只是1个城市中1年的数据,但火灾和平均温度、最大温度、最小温度、平均湿度以及最小湿度之间还是表现出了明显的负相关关系。如果比较分析更多的数据,相信相关性会更加明显。此外,研究结果也表现出了森林火灾与城市火灾之间的差异。由于受建筑物的影响,风速就几乎对城市的火灾没有什么影响。类似于森林火灾危险等级系统,天气参数对城市火灾频率规律性的影响对于城市火灾危险预测也是很有帮助的。

参考文献(References)

- [1] Bak P, Tang C, Wiesenfeld K. Self-organized criticality: an explanation of $1/f$ noise[J]. *Phys. Rev. Lett.*, 1987, 59: 381~384
- [2] Bak P, Tang C, Wiesenfeld K. Self-organized criticality[J]. *Phys. Rev. A*, 1988, 38:364~374
- [3] Carson M, Langer J S. Mechanical model of an earthquake fault[J]. *Phys. Rev. A* 1989, 40: 6 470~6 484
- [4] Barabasi AL, Albert R. Emergence of scaling in random networks [J]. *Science*, 1999, 286: 509~512
- [5] Lawrence S, Giles CL. Searching the World Wide Web[J]. *Science*, 1998, 280: 98~100
- [6] Adamic LA, Huberman BA. Power-law distribution of the World Wide Web [J]. *Science*, 2000, 287: 2 115a
- [7] Albert R, Jeong H, Brabasi AL. Diameter of the world-wide web[J]. *Nature*, 1999, 401:130
- [8] Huberman BA, Adamic LA. Growth dynamics of the world-wide web [J]. *Nature*, 1999, 401:

131

- [9] Miyazima S, Lee Y, et al. Power-law distribution of family names in Japanese societies [J]. *Physica A*, 2000, 278: 282~288
- [10] Pinho STR, Andrade RFS. An abelian model for rainfall[J]. *Physica A*, 1998, 255: 483~495
- [11] Redner S. How popular is your paper? An empirical study of the citation distribution [J]. *Eur. Phys. J. B*, 1998, 4: 131~134
- [12] Okuyama K, Takayasu M, Takayasu H. Zipf's law in income distribution of companies[J]. *Physica A*, 1999, 269: 125~131
- [13] Gopikrishnan P, Plerou V, et al., Scaling and correlation in financial time series[J]. *Physica A*, 2000, 287(3, 4): 362~373
- [14] Blank A, Solomon S. Power laws in cities population, financial markets and internet sites (scaling in systems with a variable number of components) [J]. *Physica A*, 2000, 287: 279~288
- [15] Crawley M J, Haral JE. Scale dependence in plant biodiversity [J]. *Science*, 2001, 291: 864~868
- [16] Malamud B D, Morein G, Turcotte DL. Forest fires: an example of self-organized critical behavior [J]. *Science*, 1998, 281(5 384): 1 840~1 842
- [17] Song W, Fan W, Wang B. Self-organized criticality of forest fire in China [J]. *Ecol. Modeling*, 2001, 145(1): 61~68
- [18] Song W, Fan W, Wang B. Self-organized criticality of forest fires in China [J]. *Chin. Sci. Bull.*, 2001, 46(13): 1 134~1 137
- [19] 宋卫国,汪秉宏,舒立福,等. 自组织临界性与大规模森林火灾的防治[J]. *自然科学进展*, 2002, 12(3): 1 105~1 108
- [20] Ricotta C, Avena G, Marchetti M. The flaming sandpile: self-organized criticality and wildfires[J]. *Ecol. Model*, 1999, 119(1): 73~77
- [21] Rothermel R.C. Predicting behavior of the 1988 Yellowstone fires: projections versus reality [J]. *International Journal of Wildland Fire*, 1991, 1(1): 1~10
- [22] NIFC External Affairs Office. Remote sensing and fire weather support. <http://www.nifc.gov/nifctour/remsens.html>, 2004-07-01
- [23] Viegas D.X. and Viegas M.T. A relationship between rainfall and burned area for Portugal [J]. *International Journal of Wildland Fire*, 1994, 4(1):11~16
- [24] Song Weiguo, Wang Jian, Satoh Kohyu. Distribution and correlation analysis of wildfire and weather data in Japan [J]. *Progress in Natural Science*, 2005, 15(4): 363~367
- [25] Song WG, Zhang HP et al. Power-law distribution of city fires [J]. *Fire Safety Journal*, 2003, 38: 453~465

(责任编辑 苏青)