

洪水灾害空间分布的复杂性研究

A Study on Complexity of Spatial Distribution of Flood Disaster

魏一鸣

(中国科学院科技政策与管理科学所 北京 100080)

作为一种高度复杂的自然现象,洪水灾害在空间上既具有普遍性,又具有差异性。大量研究表明:洪水灾害具有不均匀性、差异性、多样性、突发性、随机性与可预测性、规律性等复杂性的特点^[1],使得传统的“简单”的理论和手段已不适宜于伴随着人类经济活动的开展而日趋复杂化的洪水灾害系统的研究。过去只能用定性的方法描述洪水灾害的空间分布的复杂性特征。由于复杂系统^[2]和复杂理论^[3]的引入,为洪水灾害的研究注入了新的生机,复杂性理论在洪水灾害的研究中将扮演重要的角色,为解释洪水灾害中的复杂现象提供了崭新的方法论^[4]。因此,本文以广州市洪水灾害的最大水深空间分布为例,借助于复杂理论的基本的数学工具——分形,研究和分析洪水灾害空间分布的复杂性特点,揭示其复杂现象中的“简单”规律。

1 资料与数据来源

为配合城市防洪规划,合理确定广州市防洪排涝标准,广州市三防指挥部委托水利水电科学研究

院水力学研究所开展了广州市城市洪涝风险的研究工作^[5],根据 50 年一遇洪水、20 年一遇暴雨或 20 年一遇暴雨、20 年一遇暴雨相叠加而得出了最大水深空间分布图(见本刊本期封三彩图)。全部模拟范围 480.5 平方千米,按 500 米×500 米划分成 1 922 个计算网络。

2 原理与方法

(1) 分形与分维 分形是 70 年代初由 B. B. Mandelbrot 创建和发展的。Mandelbrot 通过研究发现,尽管自然现象气象万千、错综复杂、五彩缤纷,但往往存在一种自相似性(Self similarity)^[6]。这种自相似现象不仅限于形体方面,而且还可以表现出在功能、形态、信息等多方面,反映了广义全息现象的普遍存在。由于分形的提出,以往往往难以处理与分析的,被称之为粒状、流体状、中间状、丘疹状、麻窝状、树枝状、海草状、奇异状、紊乱状、弯曲状、波形状、束状、折皱状等不少形状,均能以严格的和强有力的定量方法加以处理,对此人们皆惊喜

沉,积水无法排入长江,造成内涝。同时,由于江水与两岸地下水是相通的,江水水位高也导致两岸平原地下水水位升高,这是渍害形成的主要原因。目前,仅江汉平原就有冷浸田 180 万亩。因此,寻找一种防洪与除渍并举的治理措施,具有非常重要的意义。我们建议,应顺应自然规律,有计划有步骤地实行轮流开堤开垸放淤,让泥沙沉积于堤外和垸内低地,以淤高地面;让清水回入河槽,以刷低河床,达到防洪与除渍并举的目的。

四、尽快建立长江中游防洪减灾决策系统

正确的抗洪救灾决策是取得抗洪斗争胜利的关键,它要求预测、监控、评价、决策等方面务必做到及时、快速、准确、科学。然而多年来抗洪救灾各系统一直停留于传统的运作模式:水情、险情、灾情由大量的巡视人员层层上报,汇总到某个指挥部;

指挥部再请有关专家讨论、分析、评价,提出决策方案,再上报到各级决策机关,最后由最高领导机关拍板。但是,这样一个过程不仅要延搁大量宝贵的时间,所获得的信息也不一定准确、可靠,所做出的决策也不一定是科学的最佳方案。百万军民日夜固守,疲于防渗、堵漏,其英雄壮举,举世为之感动,但终非长久之计。我们还是要靠科技防洪减灾。因此,建立一个以“3S”(RS、GIS 和 GPS,即遥感、地理信息系统和全球定位系统)技术为支撑,集气象信息、水文信息、地理信息、堤防信息等为一体的,具有综合分析、评价和决策能力的防洪、减灾决策专家系统,对长江中游的防洪、减灾具有十分重要的意义。

参考文献

- [1] 李长安 桐柏—大别山掀斜隆升对长江中游环境的影响 地球科学, 1998, 23(6): 562- 566
- [2] 刘盛佳 开凿雨沙、沙湛运河的初步探讨 华中师范大学学报(自然科学版), 1996, 30(1): 109- 114

(责任编辑 蔡德诚)

不已^[7]。因此,分形被认为是当代科学中最有影响和感召力的基本概念,分形对各门自然科学均产生,并将继续产生深远的影响,分形几何遂被作为探索自然现象复杂性的有效数学工具^[8]。它也为定量描述洪水灾害在空间分布上所表现出的随机与确定、突变与渐变、有序与无序等复杂特征,提供了崭新的手段。

分维是分形的定量描述。对于具有自相似性结构的物体,在几何性质上具有重要的一个性质,即可以用一个有效的空间维数来表示,它是一个连续变化的数,称之为Hausdorff 维数。分形是这样的一个集合,它的 Hausdorff 维数严格大于它的拓扑维数。对于规则的点、线、面、体,其 Hausdorff 维数仍然是 0, 1, 2, 3。对于一个 D 维的物体,将它的每一维尺寸放大 N 倍,则会得到 M 倍原来的物体,即:

$$N^D = M$$

$$D = (\log M) / (\log N)$$

所以 D 就是这种图形的 Hausdorff 维数。

(2) 分维与复杂系统的无序性 分形体系是复杂系统,其复杂性在一定程度上可用非整数维描述。复杂系统有各种不同的类型,其所具有的多样性需用不同维数来刻画。在经典几何中,自然界的很多对象都用整数维来描述。无序系统继承了有序系统的物理或化学实质,与有序系统的偏差是很小的。但是,现代非线性系统理论告诉我们,如果无序性很强,我们不能指望从有序性了解系统的更多信息。分形理论恰恰适应于无序系统,它把无序性看成是系统固有的性态,而不是把它看成摄动。在区分强无序和弱无序时,其效果也十分明显。说一个系统是弱无序的,如果我们用逐渐减小的尺度(对连续模型)或用逐渐增大的尺度(对点阵模型)来探测系统时,无序性消失。事实上,分形维数 D 量度了系统填充空间的能力,它与“D 是使系统在伸缩变换下保持不变的不变量”这一说法是一致的。因此, D 从测度论和对称理论方面刻画了系统的无序性。

我们知道,在经典几何中,点是零维的,直线是一维的,平面是二维的。这种维数只取整数值,它是拓扑学意义下的维数,记为 D_T ;而在分形中的分形维数记为 D_f ,既可以是整数,也可以是分数,它能准确地描述曲线(或图形)的复杂非规则性特征。图形越不规则,分形维数 D_f 就越大。

(3) 空间分布的分维数计算 如果仅以历史水深作为衡量区域危险性的因素,毫无疑问,区域的危险性是与区域的历史水深成“正比”的关系。也就是说,历史水深越高的区域,其危险性越高。因此,应用前述最大水深分布图来考察洪水灾害的空间分维特征时,我们可以针对不同的水深级别,通过改变格网的无量纲化面积 ϵ ,分别统计出相应的具有危险的区域的数量 $N(\epsilon)$,再依据 $\ln(N(\epsilon))$ 与

$\ln(1/(\epsilon))$ 的曲线图内,是否存在无标度区(直线段)来判别其分形特征的存在与否,如果直线段存在,那么,直线段的斜率就是其空间分形的分维。

3 结果与分析

根据空间分形维数的计算方法,表 1 是根据前述最大水深分布图得到的关于广州市历史最高水位 5~ 10 米等级所对应的洪水灾害危险性空间分布分维统计表。

表 1 历史水位 5~ 10 米的洪水灾害危险性空间分布分维统计表

序号	ϵ	$1/\epsilon$	$\ln(1/(\epsilon))$	$N(\epsilon)$	$\ln(N(\epsilon))$
1	0.25	4	1.386	326	5.787
2	0.50	2	0.693	318	5.762
3	0.75	1.333	0.287	306	5.724
4	1.00	1.000	0.000	299	5.700
5	1.25	0.800	- 0.223	289	5.666
6	1.50	0.667	- 0.405	266	5.583
7	1.75	0.571	- 0.560	233	5.451
8	2.00	0.500	- 0.693	205	5.323
9	2.25	0.444	- 0.812	181	5.198
10	2.50	0.400	- 0.916	167	5.118
11	2.75	0.364	- 1.011	148	4.977
12	3.00	0.333	- 1.100	131	4.875
13	3.25	0.308	- 1.178	125	4.828
14	3.50	0.286	- 1.252	110	4.700
15	3.75	0.267	- 1.287	98	4.584
16	4.00	0.250	- 1.386	87	4.466
17	4.25	0.235	- 1.448	74	4.304

依表 1 中的数据作出 $\ln(1/(\epsilon))$ 与 $\ln(N(\epsilon))$ 关系曲线图,如图 1 所示。图中存在无标度区即直线段区域,即表明存在分形特征,且直线段的斜率即为该级别危险性的空间分维,采用同样的方法可以做出一系列 $\ln(1/(\epsilon))$ 与 $\ln(N(\epsilon))$ 关系曲线(如图 1)。图 1 表明图中各个级别危险性空间分布均存在分形特征,依此可得到相应级别危险性空间分布的分维。计算结果表明,洪水灾害的空间分布具有分形特征,而且不同危险性等级对应的分维数也不同,无疑,空间分维数用定量的方式描述了洪水灾害的空间分布的复杂性特征。

图 2 描述了广州市洪水灾害不同等级危险性空间分布的分维值与其危险性等级之间的关系。从图中我们不难发现:不同的危险性等级,其在空间上的分维值也不同。当危险性等级由 I 级增加至 V 级时,其空间分布的分维值则由 0.853 减为 0.338,也就是说,针对广州市洪水灾害空间分布而言,随着灾害危险性等级的增加,其分维值减小;也就是说,其对应等级的空间分布的复杂性(不规则的程度)则减小。因此,分维值既定量地反映了洪水灾害的危险性程度,也定量地描述了洪水灾害空间分布

的复杂程度,即分维完整地解译了最大水深分布图中所隐含的关于洪水灾害空间分布的复杂信息。从这个意义上来说,完全有理由相信:它将成为“图谱理论”^[9]中的有效的分析方法。

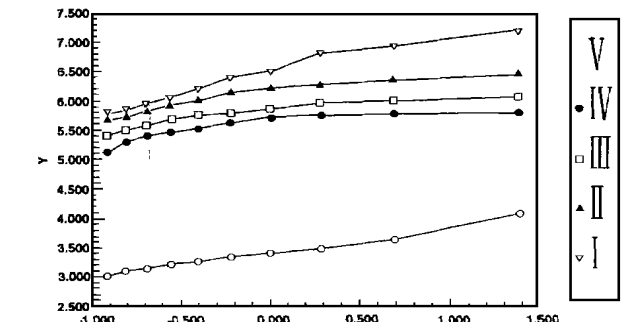


图1 广州市洪水灾害危险性分析空间分维计算图

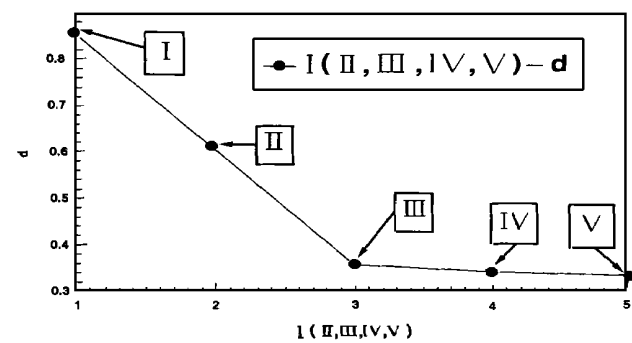


图2 广州市洪水灾害不同等级危险性空间分布的分维值与其危险性等级之间的关系

4 结语

(上接第33页)
本而又提高质量,实现精益生产。例如,对于海洋平台用钢,未再结晶控轧后的抗分层能力就远优于传统的双相区轧制,而成本大为降低。

4 基础研究

在基础研究的国际竞争中只有金牌的位置。中国应该有机会夺取几块金牌。第一是虚拟材料的性能预报。半个多世纪以前钱学森就开创了物理力学新学科,倡导从微观结构来预测材料的宏观性能,但对固体的强度和塑性却没有办法。固体的性能决定于多个层次的因素,由于各相邻学科的进展,应该说现在已具备“毕其功于一役”的条件。第二是按指定用途来设计材料。计算材料科学要能真正取得根本性的创新,并转化为现实生产力,必须从指定用途出发,而不单是从第一原理出发。第三是严酷工况下材料的失效机理及预防对策。人类正在向极限挑战,高科技对材料提出愈来愈高的要求,服役条件将愈来愈严酷,先进材料必须具备相应的服役效能。我们深信,作为人类文明里程碑的材料一定会迎来新的辉煌。

复杂理论为日趋复杂化的洪水灾害系统的研究提供了崭新的方法论。分形作为复杂性理论的基本的数学工具之一,为定量描述洪水灾害空间分布的复杂程度提供了有效的工具,同时也为“图谱”的解译提供了崭新的途径。毋庸置疑,通过开展洪水灾害空间分布的复杂性的研究,将促进人类对洪水灾害空间的分布规律的认识,对减轻洪水灾害对人类的危害起到积极的作用。

参考文献

[1]魏一鸣,金菊良 洪水灾害研究进展 大自然探索 1998, 2: 10~ 15
[2]钱学森,于景元,戴汝为 一个新的学科领域——开放的复杂巨系统及其方法论 自然杂志 1990, 1: 3~ 10
[3] Mitchell W aldorp (陈玲译). 复杂 北京: 生活·读书·新知三联书店, 1997, 1~ 6
[4]魏一鸣 自然灾害复杂性研究 地理科学 1998, 1: 25 ~ 29
[5]袁征 广东省自然灾害地图集 广州: 广东省地图出版社, 1995: 58
[6] Mandelbrot B B. The Fractal Geometry of Nature. San Francisco: Freeman Company, 1982: 2
[7] Mandelbrot B B. How long is the coast of Britain? Statistical self-similarity and fractional dimension Science. 1967, 156: 636~ 638
[8]郝柏林 分形与分维 科学 1985, 1: 9~ 17
[9]陈述彭,何建邦,承继成 地理信息系统的基础研究——地球信息科学 地球信息 1997, 3: 11~ 20
(责任编辑 王宏章)

参考文献

[1]P. A. Psaras and H. D. Langford (edited). Advancing Materials Research, Washington, DC USA: National Academy Press, 1987
[2]Committee on Materials Science and Engineering, Materials Science and Engineering for the 1990s, Washington DC USA: National Academy Press, 1989
[3]顾海澄 论我国钢铁等材料产业的可持续发展战略 科技导报,总第116期, 1998(2): 37
[4]顾海澄 对日本超级钢规划的透析和对我国钢铁、机械工业的政策建设 西安交通大学材料科学与工程学院科技资料, 1998
[5]J. W. Edington. Total quality in the steel industry: the challenge. Ironmaking and Steelmaking, 1993, 20(4): 246
[6]G. Engels Foundries challenges are global in scope. Foundry management and technology, 1993, (6): 46
(责任编辑 王宏章)