

泥石流危险性评价的耗散结构分析

柳金峰, 欧国强

(中国科学院成都山地灾害与环境研究所, 成都 610041)

摘要: 泥石流的多样性、复杂性和多因素等特征, 使其具有很大的破坏性, 也增加了其危险性评价的难度。近 10 年来, 我国泥石流每年造成损失约 33~ 36 亿元, 死亡数百人。由此可见, 泥石流的危险性评价在我国国民经济建设中起着非常重要的作用。针对目前的研究现状并结合未来灾害学的发展方向, 提出了一种基于耗散结构理论研究的新思路, 并进行了初步探索。

关键词: 泥石流; 危险性评价; 新思路; 耗散结构

中图分类号: P642.23

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2004)01-0123-03

Dissipative Structure Analysis on Debris Flow Hazard Assessment

LU Jin-feng, OU Guo-qiang

(Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041, China)

Abstract With the characteristics of diversity, complexity and multi-factors, the debris flow not only has huge destruction, but also enhances the difficulty in assessment. For nearly 10 years, the average annual economic loss is 33~ 36 billion yuan at least, hundreds of people died. Therefore, the debris flow hazard assessment plays an important role in the development of economy. In view of the research status of now adays, a new research idea based on the dissipative structure was given according to future disaster research development direction, and the primary discussion on this idea was conducted.

Key words: debris flow; hazard assessment; new research idea; dissipative structure

1969 年, 比利时物理化学家 I Prigogine 针对非平衡统计物理学的发展, 从热力学第二定律出发, 正式创立了一种非平衡态开放系统的自组织理论——耗散结构论(Dissipative Structure)。从该理论创立起, 就被广泛应用于物理、化学、生物等各个领域。本文把耗散结构引入泥石流的危险性评价中, 为泥石流危险性评价提供一种新的研究方法。

1 耗散结构理论简介

Prigogine 指出: “非平衡可能成为有序之源, 而不可逆过程导致所谓‘耗散结构’这种新的物质状态。”耗散结构论着重研究一个系统如何从混沌向有序转化的机理、条件和规律。他认为: 一个远离平衡态的开放系统(力学的、物理的、化学的、生物的、乃至社会、经济的系统), 通过不断地与外界进行物质与能量的交换, 使系统某参量变化达到一定临界值时, 可能从原有的混沌无序状态转变为在时间、空间或功能上稳定有序的新状态。这种在远离平衡的非线性区, 通过耗散物质和能量而维持的宏观有序结构就是耗散结构。形成耗散结构必须满足四个必要条件:

系统必须是一个开放系统;

系统必须远离平衡态;

系统内部各个要素之间存在着非线性相互作用;

涨落导致有序^[1]。泥石流满足这 4 个条件, 因此它是一个耗散结构系统。

2 泥石流系统与耗散结构系统

2.1 泥石流系统是一个开放系统

根据热力学第二定律: 一个孤立系统的熵总是自发地趋于极大, 随着熵的增加, 孤立系统总是自发地趋于无序, 而不能形成新的有序结构。系统在 dt 时间内的总熵变 ds 可以分成两个部分: 一部分是由系统和外界环境间的相互作用引起的, 即由物质和能量的流出或流入的过程引起的外熵流(des); 另一部分是由系统内部的不可逆过程自发产生的内熵源(dis), 任何一个系统的总熵恒等于系统中各部分的熵之和。于是有: $ds = dis + des$, ($dis \geq 0$)^[2]。如果 $des < 0$ 且 $|des| > dis$, 就会有 $ds < 0$, 这表明经过这样的过程, 系统的正熵会减小, 相应的负熵将增加, 系统就会由原来的状态朝着更

加有序的状态发展。这就是说对于一个开放系统存在着由无序到有序转化的可能。

影响泥石流的因素很多,我们可以将各种因素归纳为四个基本因素:地质因素、地形地貌因素、气候水文因素和人为活动因素^[3](见表 1)。其中各种条件的每一个影响因子在不同的地区、不同类型的泥石流中所占的比重又不尽相同。

由上述因素组成的泥石流系统,不可能是一个封闭系统,而只能是一个开放系统,是由物质、能量、意识、信息、时空五要素构成的巨型网络系统。泥石流在形成前后均处于开放系统中。由于泥石流物质系统从外部环境不断引进外熵流 des ,足以抵消各系统内部自发增生的熵源 dis ,故在一定的时间间隔 dt 内,可使物质系统的总熵变 $ds = des + dis < 0$,于是整个泥石流内各物质系统就形成了并维系着非平衡态的、有序的耗散结构模式。

表 1 泥石流产生的各种控制因子

地质因素	地形地貌因素	气候水文因素	人为活动因素
地层岩性	流域面积	年平均降雨量	植被覆盖度
构造发育程度	流域最大高差	暴雨日数	森林植被度
基岩分化程度	山坡坡度	一日最大降雨量 (> 25 坡耕地面积)	
松散物体积量	沟谷纵坡坡度	前期降雨量	工程建筑活动
松散物饱和度 (> 25 山坡坡度)		降雨强度	采矿工程活动
边坡稳定程度	微地貌形态	河流流量	垦殖放牧活动
			管理决策水平

2.2 泥石流系统是一个远离平衡态的系统

一个孤立系统达到不再随时间变化的状态,称为热力学平衡态。平衡态系统是处于熵极大的混乱无序状态,不可能产生新的有序结构。Prigogine 证明,系统即使在离平衡态不远的近平衡区,并与外界有物质和能量的交换,其发展趋势也是回到平衡态,而不会产生新的有序结构,系统只有远离平衡态,才有可能形成稳定有序结构。当系统远离平衡态,即与平衡态的距离超过某一确定的临界值时,作用于系统的热力学“力”超过线形区域,系统可能向着新的有序化状态进化。因此,不平衡是有序之源,不稳定性是产生新结构的动力^[4]。

泥石流从酝酿之时起,就一直处于长期的发展演化中,它从未达到不再随时间变化的平衡态。如沿斜坡、沟谷发育的岩石风化物 and 疏松堆积物,为泥石流不断提供了大量的物质基础。另外人类的活动也不断的作用于泥石流系统,人类的活动分为积极和消极两方面,积极的一面如人类兴建的一些防灾工程、植树造林等活动。消极的一面如铁路、公路、矿山等工程建设和过度的砍伐森林、过度放牧等活动,也为泥石流提供了大量的物质基础。只有当影响泥石流的各种因素达到一定的临界值时,泥石流继之而暴发,向有序的状态转化。因此,泥石流系统是一个远离平衡态的系统,它随时刻都在运动变化,进行着无序向有序的演化。

综上所述,泥石流系统的形成演化史,就是其在远离平衡下不断向有序化发展的历史。现今的某一特定的“视”稳定泥石流,仍然是一个远离平衡态的系统,只是还处于其酝酿

的过程中,仍然持续向更高级的有序发展。

2.3 泥石流系统内部各个要素之间存在着非线形的相互作用

系统内部各要素存在着非线形的相互作用,因此,产生的协同作用和相干效应,可使系统从无序状态转化为有序状态,产生系统演化的多复杂性和多样性。应用非线性方程描述,可得到多重解或分支解。正因为如此,才使系统产生许多可能状态,它们之间的转换状态与外界约束相呼应^[5]。

泥石流系统内部各个要素之间也存在着非线形的相互作用,这些相互作用产生的协同效应和相互干扰,是推动泥石流向着有序化发展的必要条件之一。泥石流系统是一个复杂动态的自然与人工的复合系统,其内部诸要素之间的相互作用,显然不可能是简单的线形的相互作用,而只可能是复杂非线形的相互作用。

非线性系统具有非均匀性、非对称性和相干性^[6]。非均匀性是指效应与结果随时间、地点的条件不同而不同。对于不同地区的泥石流来说,由于各个地区影响泥石流的因素各不相同,在时间、空间上存在一定的差异性。如岩性、年降雨量、植被覆盖率等因素在不同的地区有一定差异性,所暴发的泥石流的规模、频率、危害程度就不同。所谓非对称性,是参与相互作用的各要素的重要性与所起的作用是不相同的,处于支配与从属、控制和反馈、策动与响应等不对称关系中,其中某种因素会起到推动整体演化的作用。对泥石流来说,影响泥石流的因素虽然很复杂,但是对某一个特定的地区来说,控制泥石流的主要是一二个主要因素。例如:蒋家沟是典型暴雨泥石流沟,每年都是在暴雨集中的时间暴发,降雨量是其最主要的影响因素。相干性是指系统内部各个要素之间存在相互影响制约。对泥石流来说,影响泥石流的因素多且复杂,但是每个因素都不是独立存在的,因素之间存在相互作用。

综上所述,泥石流系统内部各个要素之间存在着非线形的相互作用,这也是泥石流系统不断向着有序化发展的必备条件之一。

2.4 涨落导致有序

Prigogine 指出,在耗散结构中,不稳定之后存在的宏观有序是由增涨最快的涨落决定的。涨落是指系统中某个变量对平均值的偏离,它使系统离开原来的状态。当系统处于不同状态时,涨落起着炯然不同的作用。当系统处于平衡态时,这种涨落强度不大且随时间而衰减,系统最终回到原来状态。但当系统远离平衡态,系统内具有正反馈机制时,偏离平均值的微小涨落被正反馈机制不断放大,变成“巨涨落”,系统的原状态就失稳。这种非平衡涨落是耗散结构的原动力和驱动力^[7]。

对泥石流来说,泥石流的暴发就是一个巨涨落的过程,我们也可以把泥石流的突然暴发称为“巨涨落事件”。巨涨落事件一旦停止,泥石流形成一个新的动态有序的结构。这个

结构可以保留到下一个巨涨落事件的开始期。两个巨涨落事件发生之间的这段时间, 泥石流进入一个较为平静的发展阶段。发生的涨落相对要小一些, 这段时期称之为泥石流的量变或渐变阶段。而巨涨落事件发生的阶段, 可以称之为质变或突变阶段。

3 泥石流危险性评价的耗散结构分析

整个系统发生的一切实际过程倾向于使系统取得最大混乱度。这里所说的“一切实际过程”指的是系统内外各部分之间的相互作用, 如泥石流在人为破坏植被的情况下, 地表结构破坏, 加剧水土流失, 为泥石流提供大量固体颗粒物质源, 单位时间降雨量造成泥石流的突然爆发等等。可以认为, 当系统取得最大熵产率时, 即是泥石流发生之时。其中熵产率为:

$$F = ds/dt$$

式中: s —— 熵值; t —— 时间^[8]。

3.1 信息熵的提取

在热力学中, 熵代表一个系统的混乱程度。前面我们已指出泥石流产生就是从无序到有序转化的过程, 这里所说的信息熵就是指一个系统的各种影响因素对整个系统的一种贡献, 也就是某种影响因素在泥石流发生过程中占的比重越大, 说明此种影响因素提供的信息熵越大。

将表 1 的各种因子定义为信息熵的信息源, 把泥石流的信息源集合设为:

$$P = \{P_1, P_2, \dots, P_n\}$$

式中: p_i —— 一种信息源。

由于我们掌握的有关泥石流的数据和资料, 很多都是一种模糊信息。因此, 首先要对集合进行模糊信息优化处理, 一方面对模糊信息进行量的转化, 另一方面为致灾信息源的提取做好准备。

通过信息模糊优化处理后, 得到的信息源集合设为:

$$Q = \{q_1, q_2, \dots, q_m\}$$

式中: m, n, q_i —— 且为经处理以后从中提取出来的信息源。

根据熵可加原理, 泥石流整个系统的熵其实就是各种信

息源提供的信息熵的累加。申农(C. E. Shannon)在信息论的研究中, 引进了熵的概念, 把信息熵和统计力学相联系。他把一个系统的总信息熵定义为:

$$H = -C \sum_{i=1}^m q_i \ln q_i$$

式中: H —— 总信息熵; q_i —— 信息源集合中第 i 种信息源出现的概率; $\ln q_i$ —— 信息带来的信息量; C —— 系数。

3.2 危险性评价

泥石流的产生是信息熵不断富集的一种外在表现, 而泥石流危险性评价就是研究整个系统熵富集的程度。因此如何将各种信息熵转化到研究系统的稳定性上来就是问题的关键。所以, 我们就要根据泥石流产生的机理建立相应的熵模型, 设立相适应的边界条件, 然后再去研究系统稳定性问题, 以期达到泥石流危险性评价的目的。再通过人类的各种防治活动(如修建排导槽、拦沙坝等工程)不断地给泥石流提供负信息熵, 使其达到平衡, 起到防治泥石流的作用。

4 结 语

未来灾害学的发展方向之一是对灾害做整体的综合评价。因此, 对泥石流危险性评价的准确性, 是直接影响整个综合评价的要素之一。目前多使用的 Fuzzy 综合评判法和灰色关联分析法等方法对泥石流的危险性评价, 虽然简单实用, 但存在明显的不足之处:

(1) 因子的选择, 不足以反映泥石流活动的基本特征; 只选对泥石流有利的因子, 而不选对泥石流不利的因子^[9]。

(2) 这些方法中变量(状态)界限的确定是明确的, 但实际并非如此。

而采用系统熵变作为标准来评价泥石流的稳定性, 则不仅克服了以上的缺点, 而且对灾害作整体的综合评价迈进了一大步。

致谢: 在本文初稿完成之后, 成都山地所游勇副研究员、吕娟实验师、陈顺理老师提出了宝贵的修改意见。在此, 一并致谢!

参考文献

- [1] 朱石坚, 楼京俊 从无序到有序, 从耗散结构到混沌[J]. 非线性动力学报, 2002, 9(1- 2): 93- 97.
- [2] 杨爱民, 高志义 耗散结构理论对小流域综合治理的指导作用[J]. 水土保持科技情报, 1994, (4): 37- 39.
- [3] 张春山 北京北山地区泥石流灾害危险性评价[J]. 北京地质, 1996, (2): 11- 20.
- [4] 杨杰, 张道明, 贾丽萍, 等 从熵概念到耗散结构理论[J]. 石家庄经济学院学报, 1998, 21(5): 500- 505.
- [5] 申维 自组织理论和耗散结构理论及其地学应用[J]. 地质地球化学, 2001, 29(3): 1- 7.
- [6] 秦葆瑚 耗散结构混沌分形等新理论在地质学研究中的应用[J]. 湖南地质, 1994, 13(4): 241- 249.
- [7] 祝玉学, 姚兆明 岩土工程系统理论与应用[J]. 金属矿山, 2000, (11): 44- 48.
- [8] 黄孝刚, 张家军, 甘华阳 滑坡危险性评价预测的新思路[J]. 中国地质灾害与预防学报, 2002, 13(3): 23- 28.
- [9] 李泳 泥石流危险性评价的问题[J]. 山地学报, 1999, 17(4): 305- 311.