

土壤侵蚀自组织分析

景清华¹, 杨郁挺¹, 鲁向晖²

(1. 宁夏水利科学研究所, 银川 750021; 2. 西北农林科技大学, 陕西 杨陵 712100)

摘 要: 利用耗散结构理论对土壤侵蚀耗散结构进行分析讨论, 建立土壤侵蚀自组织现象形成过程的理论模型。分析了控制土壤侵蚀耗散结构的生物措施、工程措施、耕作措施等三项水土保持措施。系统地配置各项水土保持措施, 将使系统内土壤颗粒达到近平衡态, 系统难以产生土壤侵蚀耗散结构。
关键词: 土壤侵蚀; 耗散结构; 自组织
中图分类号: S157 **文献标识码:** A **文章编号:** 1005-3409(2007)02-0079-02

Self Organization Analysis of Soil Erosion

JING Qing-hua¹, YANG Yu-ting¹, LU Xiang-hui²
(1. Ningxia Institute of Water Science, Yinchuan 750021, China;
2. Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: The dissipative structure about soil erosion was analyzed by using the theory of dissipative structure, and a model about soil erosion organization's form was established. The authors analyzed three soil and water conservation measures: biological measures, engineering measures, tillage measures, which control the dissipative structure of soil erosion. The dissipative structure about soil erosion cannot be engender, if soil and water conservation measures be collocated systematically and the soil grains reach to the balance inside system.
Key words: soil erosion; dissipative structure; self organization

自然界存在着众多低等动物的社会性自组织和物质定向有序运动的自组织现象, 如: 蚂蚁、蜜蜂的社会行为, 地表径流按照固定的各级沟道向下游汇集, 同时携带的泥沙也按照该线路流失等等。这些现象在经典的热力学第二定律中无法得到合理的解释, 在学术上形成了以克劳修斯妖为代表的“宇宙热寂说”。这一学说认为宇宙中的万事万物最终要发展到一种均匀的状态。耗散结构理论用系统的开放的理念, 建立了贝纳德对流、激光、布鲁塞尔器等耗散结构理论模型, 并成功的解释了许多自组织现象, 如: 生存竞争、罗特卡——沃尔特拉(Lotka-Volterra)模型、生物振荡、低等动物的社会行为、城市演化系统等。

水文网络的形成是自然界的地质形成过程中, 降水降落在陆地表面之后, 使陆地与外界系统产生大量的物质流和能量流的交换, 产生水资源按照各级沟道流失在陆地上形成的自组织现象。水的自组织现象又引发了地表土壤颗粒的自组织现象, 水和土的自组织现象组成了土壤侵蚀耗散结构。

1 土壤侵蚀自组织

1.1 自组织形成的条件

耗散结构理论证明, 系统产生自组织现象的基本条件是: 系统为开放系统; 系统与外界有大量的物质流和能量流的交换; 系统远离线性关系的平衡态与近平衡态, 外界驱动开放系统超出非平衡态线性区, 达到远离平衡态区域, 在涨落作用下, 产生非平衡态相变, 导致宏观有序的产生。开放条件下, 系统的熵 ds 由 des 和 dis 两部分组成, 即:

$$ds = des + dis$$

式中: dis ——系统内的正熵流, 它只能为正值或为零, $dis \geq 0$; des ——系统外部对系统输入的熵流, 其值可正可负, 当输

入系统的熵流为负且 $dis < -des$ 时系统远离平衡态, 在涨落的作用下, 产生非平衡态相变, 形成自组织现象, 即耗散结构。

1.2 土壤侵蚀自组织现象

土壤侵蚀自组织系统是指一定边界条件的地面如小流域或者土壤坡面和降水、地表径流组成的开放系统。系统在降水、地表径流、重力等外部条件的作用下, 引起系统内水和土壤颗粒沿一定的路线形成宏观定向有序的运动的现象称为土壤侵蚀自组织现象。土壤侵蚀自组织现象的持续依赖于外部大量的物质流和能量流的输入, 并在这一过程中消耗散失这部分物质流与能量流, 土壤颗粒随物质流流出边界。所以这一现象也称为土壤侵蚀耗散结构。

土壤侵蚀耗散结构的物质流和能量流主要来自于天然降雨和地球引力。 dis 主要由系统对水分的吸附保持、水流摩阻力、水流紊动、水流黏滞力、水的表面张力、土壤抗蚀性能、地表植被系统对土壤的保护作用等产生; des 主要由天然降雨雨滴的动能、水流势能、重力等产生, 流经系统的非饱和和径流的 des 则由水流势能、重力等产生。在土壤侵蚀初期, 当降雨很小或降雨初始阶段, 流经系统的径流量很小或为饱和流时, 水分很快被土壤吸收, 能量很快被消耗, 水流摩阻力等产生的 dis 很大, 加上地表植被系统对土壤的保护作用, 不能使系统远离平衡态而产生自组织现象, 此时, 系统的土壤侵蚀是随机的和偶然现象。

当外界对系统输入的物质流和能量流持续增加, 而达到某个阈值时, 系统对水分的吸收保持作用减弱, 输入的熵流 $-des$ 持续增加。这时系统正熵流 dis 与外界输入的负熵流 $-des$ 相比很小, $dis < -des$, 系统远离平衡态。由于涨落的作用导致非平衡态相变, 系统土壤侵蚀随机和偶然的平衡

* 收稿日期: 2005-10-29
作者简介: 景清华(1971-), 男, 宁夏固原人, 高级工程师, 主要从事水利水保技术与水质土壤化验分析等研究。

态近平衡态就被一种新的土壤颗粒宏观定向有序的运动所代替,产生土壤侵蚀耗散结构。系统外界持续不断地输入足够的物质流和能量流,系统就不断地消耗这些物质流和能量流,使土壤侵蚀耗散结构持续发生。

2 不同边界条件的土壤侵蚀自组织现象

当选择不同边界条件时,系统的土壤侵蚀耗散结构的形式也就不同,其对系统的危害也不同。

2.1 大流域系统的土壤侵蚀耗散结构

大流域系统的土壤侵蚀耗散结构土壤颗粒的运动路线及主要的侵蚀部位为:冲沟、切沟、坳沟、河谷等水文路线。土壤侵蚀耗散结构为间歇性、季节性和常流水性的水流对水文路线内土壤的冲刷、磨蚀,使土壤颗粒随水形成宏观定向有序运动。带来的后果是上中游沟道下切,给地表留下可被长期保存下的地貌形态,分割了完整的地表,使部分土地成为不可恢复利用的土地。由于下切深度的不断加大,给滑坡、崩塌、泻溜等形式的重力侵蚀提供了条件,造成沟岸不断扩张,侵占大量的可利用土地。同时,大量的土壤颗粒在中下游沉积,造成中下游的河床不断抬高,使这些地区时刻受到洪涝灾害的威胁。这类土壤侵蚀耗散结构完整地体现了土壤侵蚀危害程度。

2.2 小流域土壤侵蚀耗散结构

小流域一般处于大流域的上中游地区,土壤侵蚀耗散结构和大流域相似^[2,3],其危害与大流域中的上中游地区相似。土壤颗粒的沉积对小流域不产生危害或危害很小。

2.3 坡面土壤侵蚀耗散结构

坡面土壤细沟侵蚀是坡面土壤侵蚀耗散结构的具体表现形式,当系统内降落一场超过一定雨量或雨强时,在坡面上的土壤颗粒形成一种定向有序的宏观运动,经过一段时间后,在一定部位上形成梳齿状的微地貌形态^[4]。当降雨停止或雨强减弱到一定的值时,土壤耗散结构也就终止了。其在地表遗留的细沟与浅沟,在耕作等生产过程中可以消除。当这类土壤侵蚀耗散结构多次发生在同一坡面上时,可在坡面上形成肋状地貌特征。这类土壤侵蚀地侵蚀强度非常大,带走了土地表面的土壤,使土壤肥力迅速下降,土地瘠薄,对农业生产的危害非常严重。

3 控制土壤侵蚀自组织

土壤侵蚀耗散结构是一类非生命的自组织现象,对人类的生存空间产生了巨大的破坏作用,人类也为此做出了长期不懈的斗争。在以小流域为单元的水土保持研究中,形成一套完整的水土保持工作方法。其通过生物措施、工程措施、耕作措施等水土保持措施的合理配置,形成了完整的水土流失防御体系,遏制了强烈的水土流失对区域环境的危害。

3.1 生物措施

植物群落是一类有生命的高级自组织现象,它们利用光能,使水、二氧化碳、矿物元素等无机物形成高级自组织现象,这一高级自组织现象通过:

- (1) 叶面蒸发,使土壤水分减少,降雨时能容纳更多的水分,系统输出的物质流大大地减少了。
- (2) 植物体及枯枝落叶层对降雨雨滴动能的消耗,使系统外部输入的负熵流 *des* 减少。
- (3) 坡面上植物群落的存在(包括枯枝落叶层),增加了

参考文献:

[1] 沈小峰,等.耗散结构论[M].上海:上海人民出版社,1987.
[2] 杨郁挺,等.石节子沟小流域综合治理耗散结构分析[J].中国水土保持,1996,(12):19-20.
[3] 钱小蓉,等.小流域侵蚀地貌过程与耗散结构[J].水土保持通报,1986,6(6):26-28.
[4] 杨郁挺.坡面土壤细沟侵蚀自组织分析[J].中国水土保持,1995,(12):9-11.

坡面径流阻力,使系统内部正熵流 *dis* 迅速增加。

- (4) 植物群落的根系网增强了土体的整体性。
- (5) 植物群落的存在改善了土壤的理化性质,使土壤的渗透性和持水性增强。

这样就使土壤侵蚀耗散结构这一非生命自组织现象处于植物群落高级自组织现象的控制之下,不再发生。

3.2 工程措施

水土保持工程措施以水平梯田、隔坡梯田、坡式梯田等控制坡耕地的水土流失;以鱼鳞坑、反坡带子田等控制荒坡上的水土流失;以谷坊、塘坝、淤地坝、骨干工程等控制沟道的水土流失。这类措施通过破坏系统的完整性和连续性,合理地消耗水流势能,使之不产生强烈的水土流失,系统处于近平衡态,防止了土壤侵蚀耗散结构地发生。

3.3 耕作措施

水土保持耕作措施通过免耕法、等高耕作、水平沟种植、等高覆膜种植、砂田等措施,提高土壤的整体性,增强系统的持水能力,部分或全部分离与外部的联系等,减少了土壤侵蚀耗散结构发生的可能性,减轻了土壤侵蚀的危害。各项水土保持措施通过系统的配置,使系统处于近平衡态,不发生土壤侵蚀耗散结构这种强烈的水土流失。这些措施配置完成后,需要对其进行维护管理,使之持续地发挥作用,才能达到长期使系统处于近平衡态,控制土壤侵蚀耗散结构。

4 不同边界条件水土保持措施配置模式

在水土流失治理过程中,坚持因地制宜、因害设防的原则。不同边界条件的水土流失配置不同的水土保持措施,以系统的观念进行自上而下综合治理,使流域系统在整体上进入近平衡态,而不产生水土资源自组织现象,达到保护和修复区域生态环境、促进区域经济发展、保持水土的目的。

在坡面治理中,根据不同的土壤侵蚀程度和经济条件,在坡耕地上用耕作措施和工程措施进行治理、或进行退耕还草还林,对土壤侵蚀进行生物控制;在荒坡上,用荒山草场改良、荒山封育、工程措施与生物措施相结合等进行治理,从而部分或全部控制土壤侵蚀耗散结构的发生。

利用水土保持生物措施,组成高一级的有生命的耗散结构。通过有生命的耗散结构对外界降雨输入的物质流与能量流进行消耗,¹植物枝叶及枯枝落叶层对降雨雨滴动能的消耗,在坡面形成径流时,增加了径流阻力,消耗水流势能;^④植物体充分吸收土壤水分,进行叶面蒸腾和光合作用,使土壤水分减少,降雨时土壤能容纳更多的水分,消耗外界输入的物质流;^④植物群落的根系网,增强了土体的整体性,提高了土壤的抗蚀性;^{1/4}植物群落的存在,改善了土壤的理化性质,使土壤渗透性和持水性增强,进一步消耗外界输入的物质流等,使系统的耗散结构水平上升到高级有机生命现象的耗散结构,使土壤侵蚀耗散结构这一低级无生命的耗散结构得到控制。

沟道中的水土保持工程措施配置,采用在上中游的切沟上修建谷坊群,储存水流势能和其挟带的泥沙,并使物质流-水流通过入渗、蒸发等消耗,使系统本身无法产生土壤侵蚀耗散结构。中下游的冲沟、坳沟上修建塘坝、淤地坝、治沟骨干工程等,抬高侵蚀基准面,蓄积水流势能,合理地消耗水能,沉积水流中的泥沙,使沟道中的径流泥沙达到近平衡态,不发生强烈的土壤侵蚀。