

采用小波包熵度量入渗水量和试验尺度 对土壤水运移非均匀特性的影响

盛 丰^{a,b},张利勇^{a,b},吴 丹^{a,b}

(长沙理工大学 a.水利工程学院;b.水沙科学与水灾害防治湖南省重点实验室,长沙 410114)

摘 要:土壤优先流是降雨和灌溉水在土壤中常见的运动形式,但如何准确描述土壤优先流的非均匀特征一直都是土壤水文学界的研究难点和热点。采用小波包熵(Shannon 信息熵和 log 能量熵)对不同入渗水量和不同试验尺度条件下观测到的优先流运动进行了度量和分析,并将研究结果与采用基质熵和分形特征参数等度量的分析结果进行了比较。研究结果表明:①小波包熵可成功度量优先流的非均匀特征;②土壤优先流的非均匀特征随入渗水量的增大先增大后减少;③在研究尺度范围内,随着试验尺度的增大,土壤优先流运动的非均匀程度增加。

关键词:土壤优先流;小波包熵;试验尺度;非均匀性;染色示踪

中图分类号:TV93

文献标志码:A

文章编号:1001-5485(2017)11-0012-06

1 研究背景

由于土壤异质性,土壤水流运动表现出明显的非均匀特性,即优先流。土壤优先流增加了土壤水和溶质运动机理研究的难度,国内外的学者们对此都开展了大量室内研究和野外研究工作^[1]。Van Schaik^[2]采用染色示踪方法对优先流运动进行了深入研究,提出了描述优先流的4个参数,即最大入渗深度、均匀染色面积、总染色面积和优先流分数。盛丰等^[3-4]采用非均匀系数和分形特征参数定量描述了不同入渗条件下土壤水流运动的非均匀程度。此外,还有学者利用多重分形理论^[5]、信息熵理论^[6]、互相关理论^[7]、系统聚类分析^[8]对优先流运动表现出的非均匀特征进行了描述和探讨。近些年来,一些研究开始采用小波分析方法来描述土壤的物理和水动力特征。如 Si^[9]利用小波变换分析了土壤水力特性的尺度效应;Piñuela 等^[10]利用小波变换的多重分形光谱,通过三维影像定量研究了土壤孔隙分布特征,并描述了优先流几何路径及其水流运动过程;罗金明等^[11]利用小波对苏打盐渍土的水盐变化特征进行了分析;舒乔生等^[12]利用小波分析对影响土壤尺度变化的因素进行了研究。

然而,目前的研究很少采用小波分析理论来研究和描述土壤优先流的非均匀性特征。小波理论克

服了傅里叶变换的不足,特别是傅里叶变换没有局部化特性的时频分析功能。在使用小波处理信号对象时,关键的一步是如何选取阈值,并将其量化。如果阈值选取不合理,则会起到相反作用,从而影响精度。通常选择最优小波基会有难度,更多的是依赖于蒙特卡罗法统计参数后进行比较和依靠经验知识来确定最优小波基^[13]。小波包分析是对小波分析的进一步分解,小波分析只是将低频分量进行分解,而高频分量将不再分解,提取出来的小波系数序列长度不一;小波包分析则可以将信号分解在不同的频带,且不同的频带宽度是一样的。小波包分析是分析非平稳特性信号的一种有效方法,常常用于故障检测^[14]和地震信号有效成分提取^[15]等。

本文采用小波包熵的2种模式(Shannon 信息熵和 log 能量熵),对在不同入渗水量和不同试验尺度条件下,通过染色示踪方法观测到的土壤优先流进行了度量和分析,并通过与基质熵、分形特征参数等分析结果的比较,验证该方法的可靠性与合理性。

2 理论与方法

2.1 小波包熵

小波包熵是通过小波包变换将信号进行多尺度分解后,得到的一种能够识别信号能量分布特征的参数。由于小波包变换可以对信号的低频和高分

量同时进行分解,弥补了小波变换只对信号的低频分量进行分解的不足,具有对信号特征的自适应性,因而进一步提高了时频分辨率^[16]。通常小波包变换得到的系数不能像小波系数(因小波变换具有平移不变性)那样直接提取后作为信号模式分类的特征向量。而本文采用了小波包变换,因各频带上的投影互不相同,且在各频带上的能量总和与原信号是一致的,故将入渗深度分布在各频带投影序列的能量(利用各节点系数来计算各节点能量)来进行特征分析并提取出来,最后求取信号的小波包熵。小波包熵具有算法较简单、计算速度较快、易操作的优势^[16]。

小波包变换可以将信号分解为任意频段。当经过 N 层小波包分解后形成 2^N 个频带节点时,可设频带节点 (N, i) , 代表第 N 层的第 i 个节点。在本研究中,考虑到 db6 小波的特性和波形符合非线性特征且逼近研究对象^[17], 择取 db6 作为小波包变换的小波基。通过与试验的比选,选择最优分解层数为 3 进行分解^[18], 从而得到低频(左)到高频(右)的 8 个子频带分解系数 $(i = 0, 1, 2, \dots, 7)$, 如图 1 所示。图 1 中各节点对应的频率(Hz)范围为 $[iF_s/2^N, (i+1)F_s/2^N]$, 其中 F_s 为采样频率。

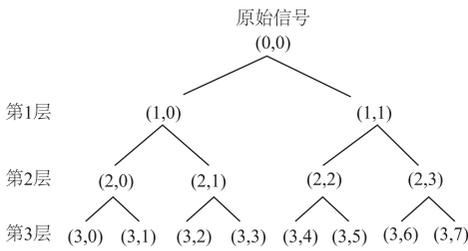


图 1 小波包分解树

Fig.1 Tree-structured wavelet packet decomposition

由分解树示意图可知,若 $f_{3,i}$ 代表第 3 层分解 i 节点的频带,此时总信号 f 为各个频带范围信号的和,即

$$f = f_{3,0} + f_{3,1} + f_{3,2} + f_{3,3} + f_{3,4} + f_{3,5} + f_{3,6} + f_{3,7} \quad (1)$$

根据分解后节点的系数可计算得到每个频带信号的频带能量,即

$$E_{3,i} = \sum_k |D_i(k)|^2 \quad (2)$$

式中: $E_{3,i}$ 为采用小波包 3 层分解所对应的各节点频带能量; $D_i(k)$ 表征第 i 个节点内信号长度 k 所代表的小波包分解系数分量。若设总信号 f 长度为 S , 则 $k = S/2^N$ 。小波包 3 层分解所对应的各节点频带能量之和 E_{sum} 为

$$E_{\text{sum}} = \sum_{i=0}^7 E_{3,i} \quad (3)$$

此时将能量归一化,对应的概率为

$$P_i = E_{3,i} / E_{\text{sum}} \quad (4)$$

分别利用小波包 Shannon 信息熵和小波包 log 能量熵对序列的非均匀程度进行度量,小波包 Shannon 信息熵 E_1 表达式为

$$E_1 = - \sum_i P_i \lg P_i \quad (5)$$

小波包 log 能量熵 E_2 表达式为

$$E_2 = \sum_i \lg P_i \quad (6)$$

文献[19]表明,当采用小波包 Shannon 信息熵 E_1 提取多类特征向量的结果较相似时,此时运用小波包 log 能量熵 E_2 具有较明显的表征能力。

2.2 信息熵理论

度量系统的复杂性程度通常以信息为基础的测度如 Shannon 信息熵来表征^[20-21]。一个系统越有序(确定),对应的 Shannon 信息熵就越低;反之,越无序(不确定),对应其值越高^[22]。采用二元编码法则,如图 2 所示,将实际入渗深度分布值用 0 (小于等于均值的所有值编码为 0) 或 1 (大于均值的所有值编码为 1) 编码,用 L 表示字长,整个系统可能存在的状态数为 2^L 。如,当 $L=2$ 时,系统含有 00, 01, 10, 11 共 $4(2^2)$ 种不同的状态;当 $L=3$ 时,系统含有 000, 001, 010, 011, 100, 101, 110, 111 共 $8(2^3)$ 种不同的状态。利用它们出现的状态数来度量序列的复杂性特征。

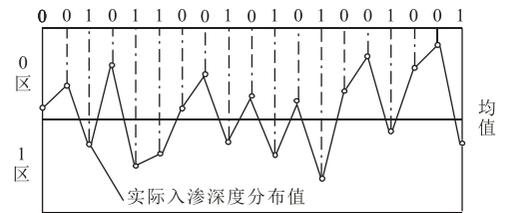


图 2 非均匀流动二元编码示意图

Fig.2 Illustration of the binary encoding of heterogeneous flow

当系统有 2^L 种可能的状态时,且各状态发生的概率为 $P_v (v=1, 2, 3, \dots, 2^L)$, 则系统的 Shannon 信息熵 $E(L)$ 可表示为

$$E(L) = - \sum_{v=1}^{2^L} P_{L,v} \log_2 P_{L,v} \quad (7)$$

如果所有状态以等概率发生时,此时系统有最大的 Shannon 信息熵,即

$$E_{\text{max}}(L) = \log_2(2^L) \quad (8)$$

如果只有一种状态 v 发生 ($P_{L,v} = 1$), 其他状态发生概率均为 0 时,此时系统有最小的 Shannon 信息熵,为 0。

Shannon 信息熵与度量字长结合,得到系统基

质熵,其表达式为

$$H(L) = E(L)/L \quad (9)$$

对不变的系统,基质熵为 $0^{[23]}$;若随机系统呈现均匀分布时,基质熵可达到最大值,为1。

根据 Wolf^[24]的研究,表征基质熵的相对误差要达到5%或更佳精度时,二元序列的总数量 n 需满足以下条件:当 L 为2时, $n \geq 24$;当 L 为3时, $n \geq 38$ 。本文所取的序列长度为1 024,因此都满足总序列长度,选择字长为2和字长为3分别进行度量和分析。

3 试验设计

试验在武汉大学水资源与水电工程科学国家重点实验室灌溉排水与水环境综合试验场进行。采用染色示踪方法共开展了6个试验,各试验条件设置如表1所示。由此,6个试验构成2组不同入渗条件下的试验系列:试验1—试验4为同一试验尺度、不同入渗水量条件下的试验系列,用于研究入渗水量对土壤优先流运动的影响;试验2、试验5和试验6为同一入渗水量、不同试验尺度条件下的试验系列,用于研究试验尺度对土壤优先流运动的影响。

表1 各试验条件设置

Table 1 Experimental conditions of the plots

试验编号	入渗水量/mm	试验尺度/(cm×cm)
试验1	20	100×100
试验2	40	100×100
试验3	60	100×100
试验4	80	100×100
试验5	40	200×100
试验6	40	400×100

试验采用类似于双套环的试验装置在原状土条件下进行,试验设计如图3所示,土壤物理和水力参数特征如表2所示。其中,内框大小即试验尺度,外框尺寸统一采用2.0 m×2.0 m。为了避免试验之间相互影响,各试验区之间的间距控制在2 m以上。试验开始时,首先在内框中铺设一层塑料膜,并在膜上注入设定高度的浓度为20 g/L的碘化钾溶液,在外框中注入与内框水头相等的清水以控制四周边界。试验开始时,迅速将塑料膜抽去,形成入渗。待碘化钾溶液完全入渗后,用防水隔热材料将试验区域覆盖。12 h后,开挖垂直剖面,剖面间距为5 cm,沿着 x 方向共开挖20个垂直剖面,如图3所示。由于碘化钾溶液自身没有颜色、无法显示土壤优先流路径,需通过显色反应(在开挖的剖面上喷洒淀粉(浓度50 g/L)和硝酸铁(浓度20 g/L)的混合溶液,将碘

离子氧化成碘分子再与淀粉反应形成蓝紫色)才能显示土壤优先流路径。显色反应完成后,采用数码相机记录垂直剖面的土壤优先流路径分布模式,图像解析度为 $1 \text{ mm}^2/\text{像素}$ 。由于显色反应时喷洒了少量的淀粉和硝酸铁的混合溶液,因此,采样时须刮去表层土壤,而取表层以下0.5 cm深处的土壤。试验在白天进行,照相时采用半透明树脂板对光线进行散射,以去除不同时刻光线不同对照相记录信息产生的差异,显色模式照相后,用灰板覆盖剖面作为背景,照相记录灰板(背景)颜色信息,从而对显示模式进行标准化处理。根据 Morris 和 Mooney 提出的临界值法^[4],将数码相机记录的彩色图片转化成黑白二元化图片。考虑侧向入渗使得最大入渗深度以上的区域并没有完全染色,故采用实际入渗深度^[6-7]对非均匀水流运动进行分析。

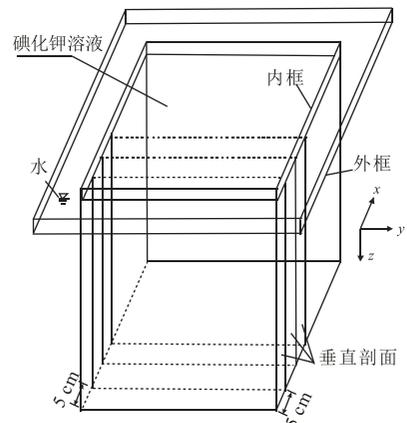


图3 试验装置示意图

Fig.3 Schematic diagram of experiment device

表2 土壤物理和水力性质参数

Table 2 Physical and hydrodynamic properties of soil

深度/ cm	不同粒径土壤的质量 百分含量/%			密度/ ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	孔隙度/ %	饱和水力 传导度/ ($\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$)
	>50 μm	[2,50] μm	<2 μm			
[0,10)	3.5	54.0	44.5	1.44	40.1	5.8×10^{-3}
[10,20)	4.4	51.2	44.4	1.50	38.7	2.1×10^{-2}
[20,50)	4.3	51.4	44.3	1.50	39.4	2.2×10^{-2}
[50,100]	4.7	50.7	44.6	1.59	43.2	1.4×10^{-2}

4 结果与讨论

采用小波包分析方法,研究入渗水量对土壤优先流非均匀特征的影响。步骤如下:首先将数据进行Z-score法标准化^[25],选择db6小波基和最优分解层数3,基于熵准则的前提下,运用MatLab(R2010b)自带的小波工具箱对小波包去噪过程的软阈值进行选取,并调节阈值条将数据进行量化。对比分析原始信号和去噪信号图形得到的初始估算

阈值,然后结合 MatLab(R2010b) 命令行代码,实现小波包对其低频和高频分量的分解。其中通过小波包变换对高频系数的噪声进行剔除,计算出噪声方差从而得到高频分量的阈值。采用第 3 层的近似分量和降噪处理得到的节点的分解尺度高频分量进行信号重构,得到各自节点的小波系数,然后对小波系数的平方求和即得到能量。小波包分析反映的是能量分布关系,经换算后求取各节点概率,最后分别结合 Shannon 信息熵和 log 能量熵 2 种模式进行表达,进而得出各试验条件下优先流运动的小波包熵。根据式(1)一式(6)理论公式,计算出各试验的小波包 Shannon 信息熵和小波包 log 能量熵;同时,根据式(7)一式(9),计算出各试验的基质熵,如表 3 所示。此外,作为比较,表 3 中还显示了 Sheng 等^[4] 计算的各项试验土壤优先流的分形特征参数 γ 。

表 3 各试验的非均匀信息计算结果

Table 3 Results for describing flow heterogeneity of tests

入渗水量/mm	试验尺度/(cm×cm)	二元编码基质熵		分形特征参数 γ	小波包熵	
		$H(2)$	$H(3)$		E_1	E_2
20	100×100	0.509	0.346	0.720	0.201	-13.714
40	100×100	0.536	0.392	0.744	0.293	-12.153
60	100×100	0.585	0.443	0.779	0.422	-10.756
80	100×100	0.511	0.347	0.662	0.284	-12.365
40	200×100	0.580	0.439	0.747	0.420	-10.780
40	400×100	0.664	0.545	0.762	0.541	-9.711

4.1 入渗水量对土壤优先流运动的影响

根据表 3,绘制出 100 cm×100 cm 试验尺度条件下各试验的小波包 Shannon 信息熵 E_1 、小波包 log 能量熵 E_2 、基质熵(二元编码 $H(2)$ 和三元编码 $H(3)$) 和分形特征参数 γ 随入渗水量的变化,如图 4 所示。图 4 显示,尽管数值不同,但是小波包 Shannon 信息熵 E_1 、小波包 log 能量熵 E_2 、基质熵(二元编码 $H(2)$ 和三元编码 $H(3)$) 和分形特征参数 γ 随入渗水量变化的趋势一致:均随着入渗水量的增大而先增大后减小,最大值均出现在 60 mm 入渗水量条件下。研究结果表明:①小波包 Shannon 信

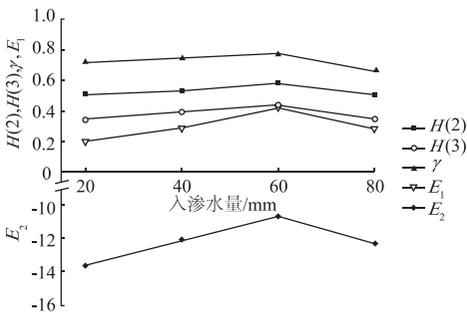


图 4 入渗水量对优先流非均匀特征的影响

Fig.4 Impacts of infiltration amount on heterogeneity characteristics of preferential flow

息熵和小波包 log 能量熵能应用于度量不同入渗水量条件下土壤优先流的非均匀特征;②土壤优先流的非均匀特征随着入渗水量的增大先增大后减小。Sheng 等^[4] 认为这主要是因为入渗水量较小时,土壤水流运动以基质流运动为主,而优先流运动由于缺少水量补充而发育较弱,因而非均匀特征不明显;随着入渗水量的增大,优先流获得了足够的水量补充而充分发展,因而非均匀特征增强;但当入渗水量过大时,优先流通道横向扩张并彼此联结,从而导致优先流向基质流转化,从而降低了流动的非均匀性。

4.2 试验尺度对土壤优先流运动的影响

根据表 3,绘制出 40 mm 入渗水量条件下,各试验的小波包 Shannon 信息熵 E_1 、小波包 log 能量熵 E_2 、基质熵(二元编码 $H(2)$ 和三元编码 $H(3)$) 和分形特征参数随试验尺度的变化,如图 5 所示。图 5 显示,尽管数值不同,但是小波包 Shannon 信息熵 E_1 、小波包 log 能量熵 E_2 、基质熵(二元编码 $H(2)$ 和三元编码 $H(3)$) 和分形特征参数随试验尺度变化的趋势一致:均随着试验尺度的增大而增大。研究结果表明:①小波包 Shannon 信息熵和小波包 log 能量熵能应用于度量不同试验尺度条件下土壤优先流的非均匀特征;②土壤优先流的非均匀特征随着试验尺度的增大而增大。唐泽华等^[26] 认为,随着试验尺度的增大,传导到局部快速优先流通道中的水流总量也增加,使得局部优先流通道充分发展,进而使得优先流通道之间以及优先流与基质流之间的差异越明显,从而使得土壤优先流的非均匀程度增大。

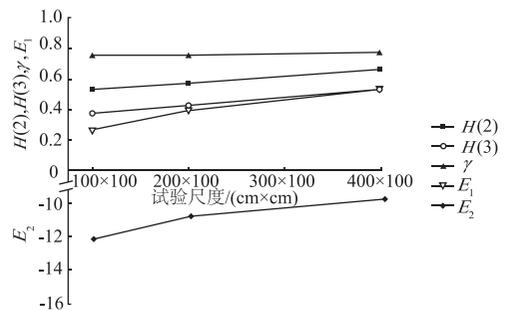


图 5 试验尺度对优先流非均匀特征的影响

Fig.5 Impacts of test scale for flow heterogeneity characteristics of preferential flow

4.3 不同参数之间的比较

基质熵所采用的二元编码方式如图 2 所示,这种编码方式将所有大于均值的值都编码为 1、小于均值的值都编码为 0,会造成信息量的较大损失。因此,即便提取 2 组数据作成的趋势图差异较明显时,采用此方法仍可能会得出相近的结论^[27]。分形特征参数 γ 描述的是土壤水流运动的宏观非均匀特征,计算过程中需要同时获得优先流分布模式和流

场内土壤含水率的分布,对数据要求较高。此外,该方法经常需要通过结合数值模拟来确定计算数据的范围^[28]。上述研究表明,小波包熵是度量土壤优先流非均匀特征的可靠指标,算法较简单,操作简便。此外,小波包分析以优先流分布模式为计算分析对象,无需含水率数据,因此对数据要求较少,具有较为广泛的应用前景。

5 结 语

采用小波包 Shannon 信息熵、小波包 log 能量熵、基质熵(二元编码和三元编码)和分形特征参数对不同入渗水量和不同试验尺度条件下的优先流运动进行了度量。研究表明:小波包 Shannon 信息熵和小波包 log 能量熵均可用来度量土壤优先流的非均匀特征,且计算简单、操作简便、对数据量要求较少;土壤优先流的非均匀特征随着入渗水量的增大而先增大后减小、随着试验尺度的增大而增大。本研究采用小波包 Shannon 信息熵和小波包 log 能量熵是基于土壤染色模式的垂直剖面定量评估了土壤水非均程度,但对土壤染色模式的三维结构作分析时具有明显的局限性,小波基不同、最优分解层数的确定和合适的阈值函数的选择来处理高频系数等问题,都会使得小波包变换的结果略有差异。因此,采用小波包熵准确度量土壤空间结构的非均匀性特征仍需进一步深入研究。

参考文献:

- [1] 盛 丰,张利勇,吴 丹.土壤优先流模型理论与观测技术的研究进展[J].农业工程学报,2016,32(6):1-10.
- [2] VAN SCHAIK N L M B. Spatial Variability of Infiltration Patterns Related to Site Characteristic in a Semi-arid Watershed[J]. Catena, 2009, 78(1): 36-47.
- [3] 盛 丰,王 康,张仁铎,等.用分形特征参数定量描述土壤水流运动的非均匀程度[J].水利学报,2009,40(12):1432-1439.
- [4] SHENG F, WANG K, ZHANG R D, *et al.* Characterizing Soil Preferential Flow Using Iodine-starch Staining Experiments and the Active Region Model[J]. Journal of Hydrology, 2009, 367(1/2): 115-124.
- [5] 朱 磊,周 清,王 康,等.基于多重分形理论的土壤水非均匀流动分析[J].水科学进展,2009,20(3):392-397.
- [6] WANG K, ZHANG R D, HIROSHI Y. Characterizing Heterogeneous Soil Water Flow and Solute Transport Using Information Measures[J]. Journal of Hydrology, 2009, 370(1/4): 109-121.
- [7] 盛 丰,王 康,张仁铎,等.田间尺度下土壤水流非均匀运动特征的染色示踪研究[J].水利学报,2009,40(1):101-108.
- [8] WANG K, ZHANG R D. Heterogeneous Soil Water Flow and Macropores Described with Combined Tracers of Dye and Iodine[J]. Journal of Hydrology, 2011, 397(1/2): 105-117.
- [9] SI B C. Spatial Scaling Analyses of Soil Physical Properties: A Review of Spectral and Wavelet Methods[J]. Vadose Zone Journal, 2008, 7(2): 547-562.
- [10] PIÑUELA J, ALVAREZ A, ANDINA D, *et al.* Quantifying a Soil Pore Distribution from 3D Images: Multifractal Spectrum Through Wavelet Approach [J]. Geoderma, 2010, 155(3): 203-210.
- [11] 罗金明,王永洁,邓 伟,等.基于小波分析的苏打盐渍土的水盐变化特征[J].土壤通报,2010,41(3):688-694.
- [12] 舒乔生,谢立亚,贾天会,等.砂壤质褐土饱和导水率与物理性质的多尺度关系——小波分析法[J].土壤学报,2011,48(2):440-444.
- [13] 桑燕芳,王 栋.水文序列小波分析中小波函数选择方法[J].水利学报,2008,39(3):295-300.
- [14] ASGARIAN B, AGHAEIDOOST V, SHOKRGOZAR H R. Damage Detection of Jacket Type Offshore Platforms Using Rate of Signal Energy Using Wavelet Packet Transform[J]. Marine Structures, 2016, 45: 1-21.
- [15] LI Y, WANG G. Simulation and Generation of Spectrum-compatible Ground Motions Based on Wavelet Packet Method[J]. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 2016, 87:44-51.
- [16] 杨 青,孙佰聪,朱美臣,等.基于小波包熵和聚类分析的滚动轴承故障诊断方法[J].南京理工大学学报,2013,37(4):517-523.
- [17] 李双成,高伟明,周巧富,等.基于小波变化的 NDVI 与地形因子多尺度空间相关分析[J].生态学报,2006,26(12):4198-4203.
- [18] 闫晓玲,董世运,徐滨士.基于最优小波包 Shannon 熵的再制造电机转子缺陷诊断技术[J].机械工程学报,2016,52(4):7-12.
- [19] 王艳霞,赵建民,郑忠龙,等.一种基于数据场和小波包熵的掌纹识别方法[J].南京大学学报(自然科学),2015,51(1):174-180.
- [20] PACHEPSKY Y, GUBER A, JACQUES D, *et al.* Information Content and Complexity of Simulated Soil Water Fluxes[J]. Geoderma, 2006, 134(3): 253-266.
- [21] 刘 杰.基于最大加权信息熵模型的水污染物总量分配[J].长江科学院院报,2015,32(1):16-20.
- [22] 黄耀英,郑 宏,田 斌.信息熵理论在岩体结构加速流变破坏分析中的应用研究[J].长江科学院院报,2011,28(8):50-54.

- [23] 张文贤,张展羽,王 康.垃圾填埋场覆盖层土壤水运动信息测度分析[J].水科学进展,2009,20(6):838-844.
- [24] WOLF F. Berechnung von Information und Komplexität in Zeitreihen-analyse des Wasserhaushaltes von Bewaldeten Einzugsgebieten[J]. Bayreuther Forum Ökologie, 1999, 65:164 .
- [25] 邵雪杰,顾圣平,曹爱武,等.多沙河流水沙变化特征的小波分析[J].长江科学院院报,2017,34(5):5-8.
- [26] 唐泽华,盛 丰,高云鹏.入渗水量和试验尺度对土壤水非均匀流动的影响[J].水土保持通报,2015,35(2):173-178.
- [27] 王 康.多孔介质非均匀流动显色示踪技术与模拟方法[M].北京:科学出版社,2009.
- [28] 盛 丰.土壤优先流运动的示踪成像技术与分析模拟模型[M].北京:中国水利水电出版社,2015.

(编辑:罗 娟)

Characterizing the Effects of Infiltration Amount and Experiment Scale on Preferential Water Flow in Soil with Wavelet Packet Entropy

SHENG Feng^{1,2}, ZHANG Li-yong^{1,2}, WU Dan^{1,2}

(1.School of Hydraulic Engineering, Changsha University of Science & Technology, Changsha 410114, China;

2.Hunan Provincial Key Laboratory of Water & Sediment Science and Water Hazard Prevention, Changsha University of Science & Technology, Changsha 410114, China)

Abstract: Preferential flow is a common flow pattern of infiltrated rain and irrigated water in unsaturated soils, and characterizing preferential flow is always a hot topic of soil hydrology researches. In this research, the wavelet packet entropy, including the Shannon entropy and logarithmic energy entropy, was used to characterizing the preferential flow heterogeneity under different infiltration conditions. The research results were compared with those characterized by matrix entropy and fractal characteristic parameter to show the feasibility of applying wavelet packet analysis to preferential soil water flow. The results show that: 1) the wavelet packet entropy is capable of characterizing the heterogeneity of preferential flow patterns; 2) the heterogeneity of preferential flow increases firstly and then decreases as the infiltration amount increases; 3) the heterogeneity of preferential flow increases steadily as the experimental scale increases within this research.

Key words: preferential flow in soil; wavelet packet entropy; experiment scale; heterogeneity; dye tracer

长江科学院水利部岩土力学与工程重点实验室参加 第五届亚洲太平洋地区爆破技术研讨会

2017年9月27—29日,第五届亚洲太平洋地区爆破技术研讨会暨第九届国际岩石破碎物理问题学术会议在浙江省舟山市召开。会议涉及工业炸药、起爆器材、岩石破碎特性、爆破振动、爆破安全、矿山爆破、拆除爆破等方面的内容,为近年来亚洲太平洋地区和俄罗斯与独联体国家爆破科技发展动态的一次盛会。来自西班牙、加拿大、俄罗斯、瑞典、韩国等10多个国家的学者参会并进行了学术交流。

长江科学院水利部岩土力学与工程重点实验室总工程师赵根教授级高级工程师和胡英国博士参加了会议,并分别作了题为“Application of Larger Scale Deep Bench Blasting in Complicated Environment”的大会报告和题为“Investigation of Contour Blasting Control Approach of High Rock Slope”的学术报告。国内外学者对复杂环境下大规模深孔爆破关键技术、高边坡开挖控制技术产生了浓厚兴趣,会场交流热烈。通过参加此次会议,不但了解了当前国际上爆破技术的最新进展,同时提高了长江科学院水利部岩土力学与工程重点实验室在爆破行业的国际知名度。

(摘自:岩土技术网)