

文章编号: 1008 - 2786 - (2012) 5 - 578 - 07

泥石流源区砾石土的粒度分形特征

黄祺^{1 2 3} 陈宁生^{1 2*} 朱云华^{1 2 4} 卢阳^{1 2 3} 吕立群^{1 2 3}

(1. 中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所, 四川 成都 610041;
2. 中国科学院山地灾害与地表过程重点实验室, 四川 成都 610041; 3. 中国科学院研究生院, 北京 100049;
4. 西南石油大学, 四川 成都 610500)

摘 要: 以 19 条泥石流沟源区 75 个砾石土试样的颗分数据为基础, 应用分形理论研究泥石流沟源区砾石土粒度组成特征, 并对粒度分形特征与土体颗粒组成的关系进行了讨论。结果表明: 1. 粒度分布具有分形特征, 以一重分形特征为主; 2. 一重分形特征表明土体各粒组的含量连续分布性较好; 二重分形表明土体各粒组的含量连续分布相对较差, 某一粒组含量存在突变; 3. 所研究的沟道平均粒度分维值 Da 在 2.45 ~ 2.78 间, 且平均粒度分维值 Da 随粘粒含量 P_c 增加逐渐增大, 具有一重分形特征的沟道二者满足关系式 $Da = 0.108 \ln(P_c) + 2.511$ 。最后探讨了研究源区砾石土粒度分形特征的意义。

关键词: 泥石流; 砾石土; 分形; 粒度组成

中图分类号: P642.1, TU41

文献标识码: A

通过野外调查及室内颗粒分析表明^[1], 我国形成泥石流的主要物质来源于一种宽级配砾石土, 包含了砾石、砂砾、粉细砂和粘性土等组分, 其中粒径 > 2 mm 的成分占整个质量的 50% 以上, 其余为砂粒、粉粒和粘粒。对于砾石土来说, 粒度组成往往决定了土的渗透性、变形、强度等物理特性, 一些学者对其进行了研究^[1-4], 给出了一些常规参数, 但研究的重点多集中在物理力学性质上, 很少涉及研究其粒度组成特征。通常砾石土中的大颗粒形成骨架结构, 小的颗粒形成粒状结构充填其中, 粘粒形成网状结构包裹粗大颗粒。可以看出砾石土的结构组成具有非确定性和非均质性, 很难以传统的、基于线性分析基础之上的方法进行定量化描述。20 世纪 80 年代末, 分形方法被引入到土的结构研究中, 国内外的许多学者对此进行了较为深入的探讨和研究, 包括 Turcotte, V. Racial, Perfect 及国内的胡瑞林、徐永

福、许文杰等^[5-10]。

本文以 19 条泥石流沟源区的 75 个砾石土试样的颗粒分析数据为基础, 以基于质量分布确定土体颗粒大小分布分形维数的方法, 求得砾石土粒度分维值, 并对粒度分形特征与土体颗粒组成的关系进行了讨论, 最后探讨了研究源区砾石土粒度分形的意义。

1 数据来源与数据处理

1.1 数据来源

本文选取了已专项调查过的 19 条泥石流沟, 取泥石流源区粒径 $r \leq 60$ mm 的砾石土试样, 并进行室内颗粒分析试验, 共 75 个试样的颗分数据, 且每条沟不少于 2 个试样。限于篇幅, 每条沟列举一个试样的粒度组成(表 1)。

收稿日期(Received date): 2012 - 04 - 05; 改回日期(Accepted): 2012 - 04 - 28。

基金项目(Foundation item): “十二·五”国家科技支撑项目(2011BAK12B02)。[“12th Five - Year Plan” National Science & Technology Support Plan Project(2011BAK12B02).]

作者简介(Biography): 黄祺(1986 -) 男, 四川武胜人, 硕士研究生, 主要研究方向为山地灾害形成机理及防治技术。[Huang Qi (1986 -), male, born in Wusheng, Sichuan, Graduate student, Majoring in mechanism of mountain hazards and control technique.] E - mail: hswlj@sina.com

* 通讯作者(Corresponding author): 陈宁生(1965 -) 男, 研究员, 博导, 研究方向为山地灾害形成机理与防治。[Chen Ningsheng (1965 -), male, professor, doctoral tutor, majoring in mechanism of mountain hazards and control technique.] E - mail: chennsh@imde.ac.cn

表 1 不同泥石流沟源区砾石土的粒度组成

Table 1 Particle distribution of soil source

编号	沟名	位置	各粒组的质量百分含量/%										
			60~40	40~20	20~10	10~5	5~2	2~0.5	0.5~0.1	0.1~0.05	0.05~0.01	0.01~0.005	<0.005
1	大凹子沟	云南东川	4.20	8.48	17.41	13.82	19.98	17.06	8.51	1.31	3.35	2.03	3.83
2	多照沟	云南东川	21.00	11.15	17.90	8.96	7.97	10.01	2.43	2.46	1.65	7.78	8.66
3	娃娃沟	四川九龙	14.53	5.11	17.0	12.90	7.76	11.2	6.89	8.75	3.20	1.12	11.54
4	撒多沟	四川木里	25.61	8.68	17.75	17.75	14.02	8.03	5.42	0.20	1.4	0.7	0.44
5	龙溪沟	浙江乐清	64.00	3.10	4.65	4.25	5.40	5.50	6.95	2.05	2.00	1.10	1.00
6	关家沟	四川汉源	13.68	9.71	14.30	16.23	14.30	10.65	12.21	4.36	2.10	0.90	1.58
7	大寨沟	云南巧家	10.00	7.50	17.20	15.70	15.20	11.00	14.40	3.22	3.58	1.50	0.70
8	回箐沟	四川米易	17.50	17.90	11.84	5.04	5.50	5.94	14.25	7.98	4.95	4.60	4.00
9	罗坝街沟	四川黑水	16.62	29.43	11.72	6.92	3.60	6.79	6.80	4.10	8.12	0.81	5.09
10	德达沟	四川巴塘		11.84	19.27	16.15	10.66	16.24	11.35	3.24	5.80	1.32	4.15
11	官坝河	四川西昌		13.45	14.05	14.6	17.29	15.71	14.60	0.71	3.30	2.30	4.00
12	王家沟	四川广元		9.90	11.60	13.10	22.10	10.80	15.10	1.10	5.60	2.20	8.60
13	杨房沟	四川木里	18.27	13.03	9.12	9.54	13.35	11.75	12.71	4.10	4.00	1.30	2.82
14	白水寨沟	四川茂县		11.38	24.91	14.51	17.21	14.32	12.51	1.40	2.00	0.56	1.20
15	黄家沟	四川九龙			11.60	31.00	7.80	6.50	19.50	6.00	14.20	2.00	1.40
16	庙儿沟	四川石棉	17.00	16.00	14.70	13.70	9.61	6.29	6.70	1.70	6.30	4.00	4.00
17	集中沟	四川石棉	7.00	7.59	13.05	12.66	12.68	9.36	5.30	4.9	16.32	5.58	5.2
18	海螺沟	四川泸定	22.00	9.64	13.42	9.01	8.91	3.98	20.85	4.20	4.95	1.78	1.27
19	热水塘沟	四川石棉	10.00	22.00	21.20	19.16	4.62	5.52	3.40	3.10	5.40	2.80	1.80

注: 粒径单位为 mm。

1.2 粒度分维计算方法

土体是在特定的自然环境中形成的一种特殊体系,其粒度成分是一种没有特定尺度的结构图形,其分形是建立在一种统计分布意义上的,即若对象的数目与按幂次增加的尺度成比例,这个幂指数即为粒度分形维数。根据分形理论^[11]有颗粒粒径 r 与粒径 $<r$ 的颗粒数目 $N(r)$ 满足分形的一般定义式

$$N(r) \propto r^{-D} \tag{1}$$

对 (1) 式两边求导可得

$$dN(r) \propto r^{-D-1} dr \tag{2}$$

颗粒大小和频度之间满足经验关系 Weibull 分布

$$M(<r)/M = 1 - \exp[-(r/r_0)^b] \tag{3}$$

式中 $M(<r)$ 为所有粒径 $<r$ 颗粒的质量之和; M 为整个试样的质量; r_0 为试样的平均尺寸, b 为常数。当 $r \leq r_0$ 时,将指数函数进行 Taylor 级数展开,并略去二次项后得

$$M(<r)/M = (r/r_0)^b \tag{4}$$

对 (4) 式两边求导可得

$$dM(<r) \propto r^{b-1} dr \tag{5}$$

颗粒数目的增加和颗粒质量之间存在下列关系

$$dM(<r) \propto r^3 dN(r) \tag{6}$$

联立式 (2) (5) 和 (6) 可得砾石土粒度分维值的计算式

$$D = 3 - b \tag{7}$$

实际上 $M(<r)/M$ 就是粒径 $<r$ 的颗粒累积质量百分比,只需在 $\lg[M(<r)/M] \sim \lg r$ 的双对数坐标系中找出存在的直线段区间,用最小二乘法拟合直线求得直线区间的斜率 b ,即可求得粒度分维值 $D = 3 - b$ 。

并非全部粒径范围内都存在分形现象,粒度分布的分形特征只在无标度区内才存在,所谓无标度区^[11]是指分形关系成立的尺度范围。本文无标度区间的划分依据粒度分布曲线上的拐点,在保证拐点相邻两直线段的斜率存在不小于二倍关系且相关系数 $R^2 \geq 0.90$ 前提下,通过不断改变拐点位置,找出最佳的拟合曲线,从而确定无标度区间。如果不存

表2 一重分形特征的沟道及相关指标

Table 2 Valleys of one dimension fractal and relevant indexes

编号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
D	2.641	2.753	2.768	2.445	2.597	2.557	2.514	2.704	2.720	2.644	2.640	2.719	2.631	2.485
R^2	0.991	0.983	0.990	0.991	0.991	0.984	0.953	0.946	0.961	0.993	0.994	0.995	0.985	0.992
Pc	5.68	7.43	12.05	2.51	2.05	0.99	1.13	4.01	5.01	4.00	4.10	7.07	2.31	1.62
Da	2.682	2.762	2.779	2.601	2.647	2.510	2.530	2.673	2.691	2.662	2.654	2.700	2.600	2.518

注: D : 列举试样的分维值; Pc : 粘粒平均含量

在拐点,无标度区就是整个尺度范围,就表示在整个尺度范围内线性关系较好,即具有一重分形特征;如果存在一个拐点,就表示在整个尺度范围线性关系较差,而在两个无标度区间内线性关系较好,即具有二重分形特征;同理,两个拐点即具有三重分形特征。

1.3 数据的计算结果

根据上述计算方法,对75个砾石土试样的颗粒数据进行分析计算,采用最小二乘法求得了粒度分维值和相关系数。计算结果发现:14条泥石流沟源区砾石土的粒度分布曲线不存在拐点,具有一重分形特征,试样分维值 D 为 2.445 ~ 2.798,相关系数 $R^2 \geq 0.946$,沟道平均分维值 Da 为 2.518 ~ 2.779。具有一重分形特征的沟道及相关指标见表2,典型粒度分布曲线见图1(a)。

4条泥石流沟源区砾石土的粒度分布曲线存在一个拐点($r = 0.1 \text{ mm}$ 或 $r = 0.5 \text{ mm}$) 将整个尺度范围划分为两个无标度区间: $[0.005, 0.1]$ 和 $[0.1, 60]$ 或 $[0.005, 0.5]$ 和 $[0.5, 60]$ (单位 mm),具有二重分形特征,其分别对应的分维值 D_1 为 2.039 ~ 2.561 和 D_2 为 2.558 ~ 2.809,相关系数 $R^2 \geq 0.918$,沟道平均分维值 Da 为 2.452 ~ 2.547,具有二重分形特征的沟道及相关指标分别见表3,典型粒度分布曲线分别见图1(b)、图1(c)。

表3 二重分形特征的沟道及相关指标

Table 3 Valleys of two dimensions fractal and relevant indexes

编号	D_1	D_2	R_1^2	R_2^2	Pc	Da
15	2.039	2.742	0.983	0.953	2.17	2.452
16	2.561	2.712	0.921	0.977	2.73	2.546
17	2.401	2.809	0.962	0.977	2.89	2.547
18	2.221	2.769	0.980	0.941	0.64	2.500

注: 15 ~ 17 的无标度区间为 $[0.005, 0.1]$ 和 $[0.1, 60]$, 18 的无标度区间为 $[0.005, 0.5]$ 和 $[0.5, 60]$ 。

仅1条泥石流沟源区砾石土的粒度分布曲线存在两个拐点($r = 0.1 \text{ mm}$, 5 mm) 将整个尺度范围划分为三个无标度区间: $[0.005, 0.1]$, $[0.1, 5]$ 和 $[5, 60]$, 其对应的分维值 D_1 为 2.345 ~ 2.465, D_2 为 2.761 ~ 2.868 和 D_3 为 2.325 ~ 2.582, 相关系数 $R^2 \geq 0.930$, 其平均分维值为 2.565。沟道及相关指标见表4, 典型粒度分布曲线见图1(d)。

表3 三重分形特征的沟道及相关指标

Table 3 Valleys of three dimensions fractal and relevant indexes

编号	D_1	D_2	D_3	R_1^2	R_2^2	R_3^2	Pc	Da
19	2.346	2.826	2.487	0.919	0.986	0.963	1.64	2.565

从分析的泥石流沟的试样可以看出,虽然泥石流沟分布不同,所处的地质环境背景不同,其源区砾石土地质成因复杂多样,但在统计意义上仍满足自相似性规律,且泥石流沟源区砾石土以一重分形特征为主,二重分形特征次之。

2 泥石流沟源区砾石土粒度分形特征分析

2.1 砾石土粒度分形特征

各粒径含量的不同决定了砾石土在空间堆积过程中颗粒之间的相互混杂、相互充填、相互咬合的复杂性,及堆积方式的复杂性。在整个无标度区间内仅存在单一分维值,即一重分形特征,表明砾石土各粒组的含量分布较好。若存在多个分维值,即具有二重分形以上的特征,表明各粒组的含量分布较差,拐点附近的粒组含量存在突变。如黄家沟源区砾石土在 $(0.05 \sim 0.1)$ 粒组内的含量明显低于相邻粒组的含量如图2(a)所示;而海螺沟在 $(0.1 \sim 0.5)$ 粒组内的颗粒含量却明显高于相邻粒组的含量如图2(b)。

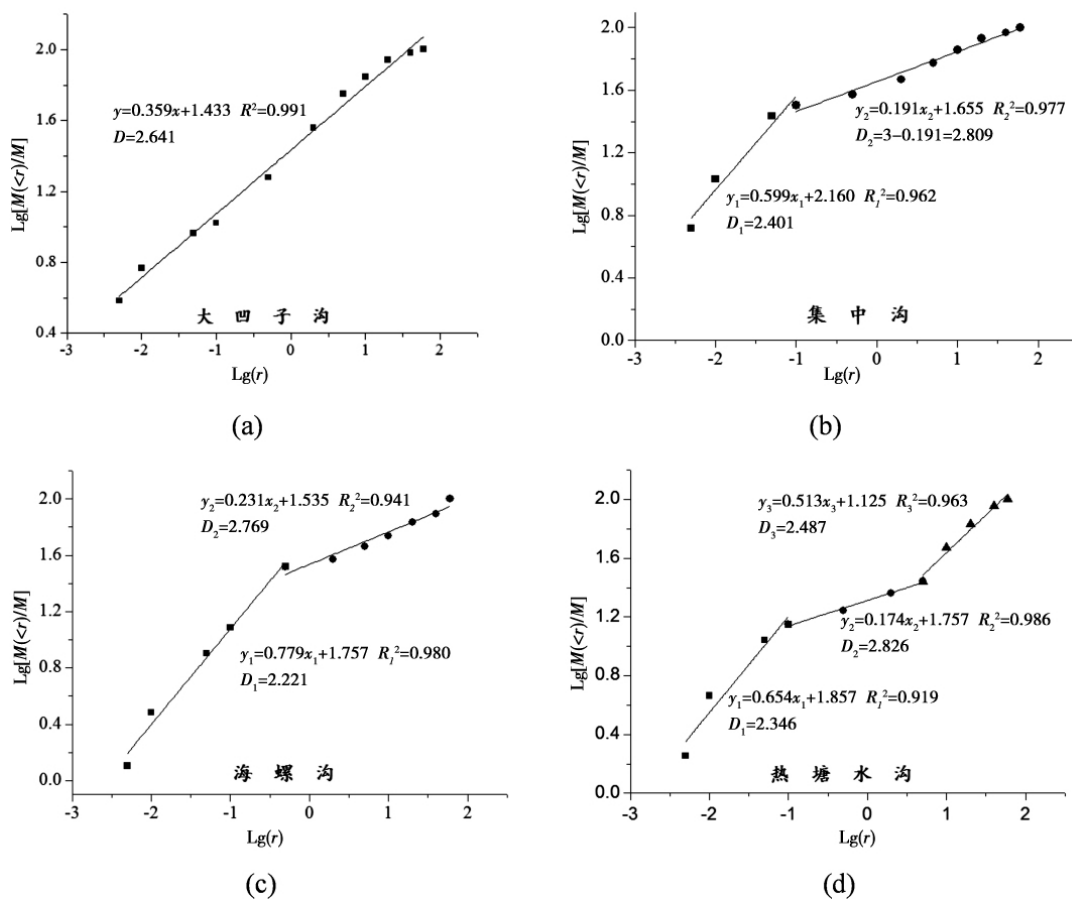


图 1 粒度分布曲线及分维值

Fig. 1 Particle size distribution curve and fractal dimension

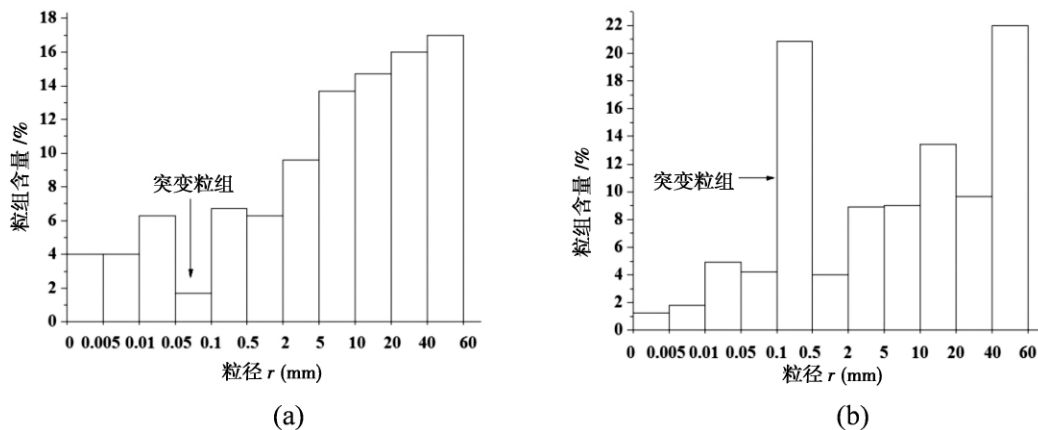


图 2 二重分形的砾石土粒度分布直方图

Fig. 2 Bar chart of particle distribution of gravel soil possessed two dimensions fractal

对于具二重分形特征的砾石土,形成了粒径 $r \leq 0.1$ mm 或 0.5 mm 所包含的“细颗粒”和 $r > 0.1$ mm 或 0.5 mm 所包含的“粗颗粒”,对应的分维值满足 $D_1 < D_2$ 。由于在长期的风化、搬运等作用下,部分大颗粒被分解,形成砾石土的充填成分—细颗

粒,成因上的差别使得“细颗粒”相对“粗颗粒”分选性好,则相应的分维值则表现为 $D_1 < D_2$ 。对于具有三重分形特征的砾石土,却形成了粒径 $r \leq 0.1$ mm 所包含的“细颗粒”、 $0.1 < r \leq 5$ mm 所包含的“中颗粒”和 $r > 5$ mm 所包含的“粗颗粒”,满足 $D_1 < D_3 <$

D_2 。

2.2 砾石土粒度分维值特征

计算结果发现,同一条泥石流沟源区的砾石土在相同无标度区间内,分维值相差较小,一般在 0.05 内。热水塘沟分维值 D_3 相差最大可达 0.257。不同泥石流沟的粒度分维值不同,平均粒度分维值在 2.45 ~ 2.78 之间,这与沟道所处的地质环境背景有关。例如硬岩和软硬相间的基岩有利于粗颗粒组分的增加,纯粹由软岩石组成的地区,粗颗粒相对较少。蒋家沟的主沟多照沟和支沟大巴子沟相比,主沟的源区为板岩和千枚岩,大巴子沟源区为板岩、千枚岩和变质白云岩互层,使得大巴子沟中粗颗粒相对较多,细颗粒相对较少,反映在粒度分维值上就是大巴子沟为 2.682,多照沟为 2.762。分维值的大小反映了砾石土的颗粒组成,粗颗粒含量较多,粒度分维值越小;细颗粒含量越多,分维值就越大。

2.3 砾石土粘粒含量与粒度分维值的关系

从表 2 和表 3 可以看出,粒度分维值随粘粒含量增加逐渐增大,这与文献^[12]研究的结果一致。将一重分形的泥石流沟的平均粘粒含量(P_c)与其平均粒度分维值(Da) 在坐标系下拟合得到二者之间的关系式(8),二者成对数关系如图 3 所示,相关系数 $R^2 = 0.907$ 。该关系式很好的描述了粘粒含量与粒度分维值的定量关系。

$$Da = 0.108 \ln(P_c) + 2.511 \quad (8)$$

3 研究泥石流源区砾石土粒度分形的意义

研究泥石流源区砾石土的粒度分形的目的,就

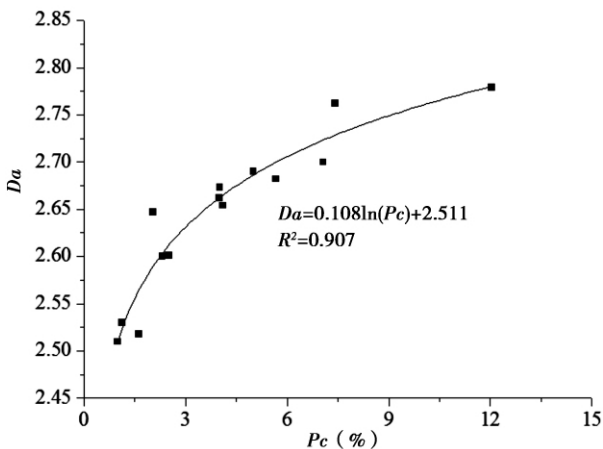


图 3 粒度分维值与粘粒含量的关系

Fig. 3 The relationship between particle size fractal and clay contents

是根据粒度分形特征来表征其物理性质,从而揭示砾石土的粒度组成对泥石流启动的影响。土体的工程性质与土体的级配有密切相关,级配良好的土颗粒具有一重分形特征,级配不良的土颗粒具有多重分形的特征^[8]。具有一重分形特征的砾石土,分选性差,各粒组的含量分布较好,颗粒间形成的孔隙相对较小,细颗粒的运移容易堵塞孔隙,土体的渗透性变差,导致孔隙水压力增加,从而降低土体摩擦阻力,引起土体的破坏,形成泥石流。这也印证了所研究的泥石流沟源区砾石土以一重分形为主。

土体的粒度分维与其物理力学性质研究已经取得了一定的成果^[8-9,13],主要集中在细粒土中,粗粒土研究较少。易顺民^[14]根据实验分析指出,随着泥石流堆积物(土体为砾石土)的粒度分维值的增大,大孔隙减少,细微孔隙增加,导致其物理力学性质产生变化;高召宁^[15]对斜坡松散堆积物进行了研究,指出随粒度分维值的增大,孔隙率逐渐增大而内摩擦角逐渐减小。在一重分形特征的砾石土中,分维值大粘粒含量就多,粗粒含量相对减少,粗粒形成的大孔隙减少,而细粒形成的细微孔隙增加,土体渗透性变差,易导致孔隙水压力增加,土体有效应力降低,引起土体破坏,易形成泥石流。

许多国内外泥石流专家和学者们都认为泥石流源区土体的粒度组成对泥石流的启动产生重要影响,但在这方面的研究工作较少且存在不足^[16]。从上面分析可知,具有一重分形特征且粒度分维值大的砾石土可能更容易启动形成泥石流,但还需做进一步的研究,才能更好的揭示土体粒度组成对泥石流启动的影响。

4 结论与展望

1. 在各种内外动力地质作用下破坏形成的碎石块体,在经过数万年的风化、搬运和充填作用,形成了目前的各种各样的砾石土。虽然地质成因复杂多样,但是其粒度分布仍然具有良好的统计自相似性,即具有分形特征。

2. 泥石流源区砾石土的粒度分布具有一重或二重或三重分形特征,以一重分形特征为主。一重分形表明各粒组的含量连续分布性较好;二重分形表明土体各粒组的含量连续分布相对较差,某一粒组含量存在突变。

3. 所研究的沟道砾石土的平均粒度分维值

(Da) 在 2.45 ~ 2.78 间, 且平均粒度分维值(Da) 随粘粒含量(P_c) 的增加逐渐增大, 具有一重分形特征的砾石土二者满足关系式 $Da = 0.108 \ln(P_c) + 2.511$ 。

分形理论为我们研究源区土体粒度组成对泥石流启动的影响提供了新的理论工具, 分形特征能很好的反映土体粒度的复杂组成。但分维值与土体的物理性质之间的准确定量表示指标, 尚须做更深入的研究。由于这方面的工作才刚刚起步, 相信随着研究工作的不断深入, 会取得更有意义的成果。

参考文献(References)

- [1] Chen Xiaoqing, Cui Peng, Chen Jie, et al. Infiltration experiment of wide-graded gravel soil in the Jiajiagou Ravine [J]. Journal of Mountain Science 2006 24 (Suppl.): 190 - 197 [陈晓清, 崔鹏, 陈杰, 等. 云南东川蒋家沟宽级配砾石土原位渗透试验初步研究[J]. 山地学报 2006 24 (增刊): 190 - 197]
- [2] Chen Ningsheng, Cui Peng, Wang Xiaoying, et al. Testing study on strength reduction of gravelly soil in triggering area of debris flow under earthquake [J]. Chinese Journal of Rock and Mechanics and Engineering 2004 23 (16): 2743 - 2747 [陈宁生, 崔鹏, 王晓颖, 等. 地震作用下泥石流源区砾石土体强度衰减实验[J]. 岩石力学与工程学报 2004 23 (16): 2743 - 2747]
- [3] Chen Ningshen, Zhang Jun. The research of permeability on lose gravelly soil in debris flow original area [J]. Journal of Mountain Science 2001 19 (1): 169 - 171 [陈宁生, 张军. 泥石流源区弱固结砾石土的渗透规律[J]. 山地学报 2001 19 (1): 169 - 171]
- [4] Wei Houzhen, Wang Ren, Hu Mingjian, et al. Strength behavior of gravelly soil with different coarse-grained contents in Jiangjiagou Ravine [J]. Rock and Soil Mechanics 2008 29 (1): 48 - 52 [魏厚振, 汪稔, 胡明鉴, 等. 蒋家沟砾石土不同粗粒含量直剪强度特征[J]. 岩土力学 2008 29 (1): 48 - 52]
- [5] Turcotte, D. Fractals and fragmentation [J]. Journal of Geophysical Research 1986 91 (B2): 1 921 - 1 926
- [6] V Rasiiah, B D Kay, E Perfect. New mass-based model for estimating fractal dimensions of soil aggregates [J]. Soil Science 1993, 57: 891 - 895
- [7] Perfect E, B Kay. Fractal theory applied to soil aggregation [J]. Soil Science 1991, 55: 1 552 - 1 558
- [8] Xu Yongfu, Liu Sihong, Dong Ping. Microstructural model for granular soils [J]. Rock and Soil Mechanics 2001 22 (4): 366 - 372 [徐永福, 刘斯宏, 董平. 粒状土体的结构模型[J]. 岩土力学, 2001 22 (4): 366 - 372]
- [9] Hu Ruilin, Li Xiangquan, Guan Gualin, et al. Application of fractal theory in study of microstructure effect on loess collapsibility [J]. Journal of Nonlinear Dynamics in Science and Technology 1996 3 (4): 366 - 372 [胡瑞林, 李向全, 官国林, 等. 分形理论在黄土湿陷性的微结构效应研究中的应用[J]. 非线性动力学学报, 1996 3 (4): 366 - 372]
- [10] Xu Wenjie, Hu Ruilin. Particle size fractal characteristics of the soil-rock mixtures in the right bank slope of jinsha river at long pan tiger-leaping gorge area [J]. Journal of Engineering Geology 2006 14 (04): 496 - 501 [徐文杰, 胡瑞林. 虎跳峡龙蟠右岸土石混合体粒度分形特征研究[J]. 工程地质学报 2006 14 (4): 496 - 501]
- [11] Chen Yong, Chen Lin. Fractal Geometry [M]. Beijing: Seism Press 1998: 85 - 87 [陈颢, 陈凌. 分形几何学[M]. 北京: 地震出版社, 1998 85 - 87]
- [12] Ni Huayong, Liu Xilin. A preliminary study on debris flow grain-size fractal dimension [J]. Research of Soil and Water Conservation 2006 13 (1): 89 - 92 [倪化勇, 刘希林. 泥石流粒度分维值的初步研究[J]. 水土保持学报 2006 12 (1): 89 - 92]
- [13] Xie Jing, Chen Wenwu, Cheng Jia, et al. Research into the relationship between microstructure fractal and porosity and compressive strength [J]. Journal of Lanzhou University: Natural Sciences, 2009 45 (2): 26 - 30 [解静, 谌文武, 程佳, 等. 微结构分维与孔隙率及抗压强度的关系[J], 兰州大学学报: 自然科学版, 2009 45 (2): 26 - 30]
- [14] Yi Shunmin, Sun Yunzhi. The fractal features of debris flow and its significance [J]. Scientia Geographica Sinica 1997 17 (1): 24 - 31 [易顺民, 孙云志. 泥石流的分形特征及其意义[J]. 地理科学 1997 17 (1): 24 - 31]
- [15] Gao Zhaoning. Study on self-organized criticality fractal and theory of disasters [D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2008: 101 - 108 [高召宁. 自组织临界性、分形及灾变理论研究[D]. 成都: 西南交通大学 2008: 101 - 108]
- [16] Chen Zhongxue. Research on clay particles content for Initiation and antistrophe mechanism of debris flows in Jiangjia Ravine [D]. Wuhan: Institute of Rock & Soil Mechanics, CAS. 2010. 23 - 27 [陈中学. 黏土颗粒含量对蒋家沟泥石流启动影响及成灾机理研究[D]. 武汉: 中国科学院武汉岩土力学研究所 2010: 23 - 27]

Particle Size Fractal Characteristics of the Gravel Soil in Original Area of Debris Flow Valleys

HUANG Qi^{1 2 3}, CHEN Ningsheng^{1 2}, ZHU Yunhua^{1 2 4}, LU Yang^{1 2 3}, LÜ Liqun^{1 2 3}

(1. Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041, China;

2. Key Lab of Mountain Hazards and Surface Processes, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041, China;

3. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;

4. Southwest Petroleum University, Chengdu 610500, China)

Abstract: Based on the particle distribution of 75 gravel soil samples from 19 debris flow valleys, the fractal theory is applied to study the characteristics of particle composition of gravel soil. The relationship between the characteristics of fractal dimension and particle composition is discussed later. The results show that: 1. the gravel soil possesses the characteristic of fractal, and mainly in one dimension fractal; 2. particles with one dimension fractal is fine graded; particles with two dimension fractal is weak graded, and it emerges when there exists a particle abrupt; 3. the average particle size fractal is between 2.45 and 2.78 in the 19 debris flow valleys, and it goes up with the increasing of clay content. The relationship between particle size fractal in one dimension and clay content can be expressed by: $D_a = 0.108 \ln(\rho_c) + 2.511$. At last, the significance of researching on the fractal characteristics of gravel soil in original area of debris flow valleys is discussed.

Key word: debris flow; gravel soil; fractal; particle composition

征稿简则

《山地学报》是专门报道山地科学研究理论与山区开发、整治、建设实践相结合等内容的综合性科技期刊,内容涵盖自然科学与人文科学两大门类中与山地研究、开发有关的多学科知识,重点报道山地资源开发与山地生态环境演变、山区工程建设与山地灾害(崩塌、滑坡、泥石流、水土流失、山洪等)防治、山区社会发展与城镇规划、山区可持续发展与产业结构调整等领域的理论文章、应用技术、研究和实验方法等。同时设有学术动态、新书介绍和书评等不固定栏目,此外还特设了青藏高原等专题栏目。投稿者请注意:

1 严格遵守国家保密规定,涉及国家和地区名称、界线、保密等政治及敏感问题须认真核实,与我国政府口径一致。

2 严格按照来稿要求投稿,凡未按要求投稿的一律按退稿处理。投稿时,请寄纸质稿件2份到编辑部。

3 稿件文责自负。本刊对来稿有修改权,如不同意请事先声明。勿一稿多投。本刊审稿周期为3个月左右,作者在投出稿件100天后未收到稿件处理意见,可另行处理。由于人手有限,稿件刊用与否均不退还原件,请自留底稿。本刊对刊用稿件酌收版面费和审稿费。如需抽印,请事先声明数量,酌收成本费用。

4 本刊所拟刊载稿件将同时优先进入各大检索数据源并上网,作者若有异议请预先申明。

5 来稿请寄:成都市一环路南二段10号中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所《山地学报》编辑部,邮政编码610041; E-mail: hyfeng@imde.ac.cn; 电话:(028) 85223826; 网上在线投稿 <http://www.sdxbl983.com>。作者投稿时务必附上联系电话。

《山地学报》编辑部