

基于分形理论的浙江省地质灾害分布特征与影响因素分析

戴梦兰, 陈志波, 施国栋

Analysis of the distribution characteristics and influencing factors of geological hazards in Zhejiang Province based on fractal theory

DAI Menglan, CHEN Zhibo, and SHI Guodong

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.16031/j.cnki.issn.1003-8035.202110032>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

四川长宁“6·17”地震诱发的次生地质灾害类型及其发育特征

Types and their characteristics of geological hazards triggered by “6·17” earthquake in Changning, Sichuan Province

廖勇, 徐闯, 陈军, 周世文 中国地质灾害与防治学报. 2021, 32(1): 77-83

甘肃定西地区地质灾害危险性评价

Risk assessment of geological hazards in Dingxi region of Gansu Province

沈迪, 郭进京, 陈俊合 中国地质灾害与防治学报. 2021, 32(4): 134-142

安徽黄山市徽州区地质灾害危险性评价研究

Study on risk assessment of geological hazards in Huizhou District, Huangshan City, Anhui Province

刘乐, 杨智, 孙健, 刘钦, 彭鹏, 段俊斌 中国地质灾害与防治学报. 2021, 32(2): 110-116

基于关联维数的地质灾害空间分布特征分析

姜恩三, 任光明, 王文坡, 杨磊

中国地质灾害与防治学报. 2018, 29(1): 113-118

黄河流域甘肃段地质灾害发育特征

The development characteristics of geological hazards in Gansu segment of the Yellow River basin

郭富, 宋晓玲, 刘明霞 中国地质灾害与防治学报. 2021, 32(5): 130-136

西藏林芝降水引发的山洪地质灾害分布特征

陈宫燕, 普布桑姆, 次仁, 阿旺卓玛, 次仁旺姆

中国地质灾害与防治学报. 2018, 29(2): 100-103



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

DOI: 10.16031/j.cnki.issn.1003-8035.202110032

戴梦兰, 陈志波, 施国栋. 基于分形理论的浙江省地质灾害分布特征与影响因素分析 [J]. 中国地质灾害与防治学报, 2022, 33(6): 63-69.

DAI Menglan, CHEN Zhibo, SHI Guodong. Analysis of the distribution characteristics and influencing factors of geological hazards in Zhejiang Province based on fractal theory[J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2022, 33(6): 63-69.

基于分形理论的浙江省地质灾害分布特征与影响因素分析

戴梦兰^{1,2}, 陈志波^{1,2}, 施国栋³

(1. 福州大学紫金地质与矿业学院岩土与地质工程系, 福建 福州 350116; 2. 福建省智能环境岩土工程闽台科技合作基地, 福建 福州 350116; 3. 安徽建筑大学土木工程学院, 安徽 合肥 230601)

摘要:在浙江省地质灾害空间分布特征研究中引入了多重分形方法, 基于分形理论研究地质灾害分布的影响因素。研究表明: 浙江省地质灾害空间分布具有明显的分形特征, 西北和东南地区发育较强烈; 浙江省地质灾害空间分布与水系分布、降水量、地形坡度、坡高、地层岩性、道路分布及地形地貌有关, 其中在降雨量为 2 232~2 565 mm、坡度为 25°~35°范围内、坡高为 500~1 000 m 范围内和侏罗系地层范围内, 崩塌、滑坡、泥石流灾害发育明显, 在山地地形范围内地质灾害易发生。浙江省的道路分布中, 省道分布对地质灾害发育的影响比较大; 浙江省钱塘江水系和甬江水系比较复杂, 且对地质灾害发育的影响比较大。研究成果进一步明确了浙江省地质灾害分布特征及主要影响因素影响规律, 对灾害防治开展具有指导参考意义。

关键词: 地质灾害; 分形理论; 分维值; 分布特征

中图分类号: P642.2

文献标志码: A

文章编号: 1003-8035(2022)06-0063-07

Analysis of the distribution characteristics and influencing factors of geological hazards in Zhejiang Province based on fractal theory

DAI Menglan^{1,2}, CHEN Zhibo^{1,2}, SHI Guodong³

(1. Department of Geotechnical and Geological Engineering, Zijin School of Geology and Mining, Fuzhou University, Fuzhou, Fujian 350116, China; 2. Fujian-Taiwan Science and Technology Cooperation Base of Intelligent Geoenvironmental Engineering of Fujian Province, Fuzhou, Fujian 350116, China; 3. School of Civil Engineering, Anhui Jianzhu University, Hefei, Anhui 230601, China)

Abstract: The multifractal method is introduced in the study of the spatial distribution characteristics of geological hazards in Zhejiang Province, and the influencing factors of geological hazards distribution are studied based on the fractal theory. The research results show that the spatial distribution of geological hazards in Zhejiang Province has obvious fractal characteristics, and the northwest and southeast regions are more developed; The terrain is related to the topography. Among them, within the range of rainfall of 2 232–2 565 mm, the slope of 25°–35°, the slope of 500–1 000 m, and Jurassic strata, collapse, landslide,

收稿日期: 2021-10-28; 修订日期: 2022-05-30

投稿网址: <https://www.zgdzhyfzxb.com/>

基金项目: 福建省科技厅引导性(重点)项目(2021Y0004); 国家自然科学基金(52278335); 2020 年度安徽省教育厅科学研究项目(KJ2020JD01); 安徽省建设科学技术计划项目(2020-YF23)

第一作者: 戴梦兰(1996-), 女, 江苏淮安人, 硕士研究生, 主要从事地质灾害方面的研究。E-mail: 1677842770@qq.com

通讯作者: 陈志波(1977-), 男, 福建仙游人, 教授, 博士, 主要从事岩土工程、地质工程等方面的教学与科研。E-mail: czb@fzu.edu.cn

and debris flow are obviously developed. Internal geological hazards are prone to occur. In the distribution of roads in Zhejiang Province, the distribution of provincial roads has a greater impact on the development of geological hazards; the Qiantang River and Oujiang River systems in Zhejiang Province are more complex and have a greater impact on the development of geological hazards. The research results further clarified the distribution characteristics of geological hazards in Zhejiang Province and the influence laws of main influencing factors, which have guiding and reference significance for disaster prevention and control.

Keywords: geological hazard; fractal theory; fractal dimension value; distribution characteristics

0 引言

地质灾害是指在自然或者人为因素的作用下形成的,对人类生命财产造成的损失、对环境造成破坏的地质作用或地质现象^[1]。目前,对于地质灾害的研究主要是危险性的评估、风险分析、预警、预报模型等定性或半定量分析^[2],而对地质灾害空间分布特征分析的定量计算方面的研究很少。分形理论^[3]用分数维度的视角和数学方法描述和研究客观事物,也就是用分形分维的数学工具来描述和研究客观事物。分形理论被广泛地应用于不规则系统的研究中,地质灾害演化过程是非线性的,随着分形理论在诸多领域的广泛应用,学者们开始将该理论应用于地质灾害演化过程中,并逐渐将其发展成了新一类地质灾害分析方法^[4-5]。

桂蕾等^[6]运用多重分形理论中的广义关联维计算方法,分析得出滑坡变形演化过程中所表现出的多重分形特征。姜恩三等^[7]研究发现普格县地质灾害空间分布具有明显的分形特征,并对该区域地质灾害进行易发性划分。王森等^[8]应用分形理论对南江县滑坡敏感性进行分析,绘制滑坡易发性区划图。王潇等^[9]基于分形理论中盒维数法,划分了四川省达州市达州区滑坡灾害易发程度。乔朋腾^[10]在研究吕梁山区滑坡、崩塌灾害发育影响因素时,发现滑坡、崩塌与各影响因素均呈现变维分形特征。陶洁^[11]研究泰宁县滑坡空间分布特征时,发现该区滑坡具有明显分形特征。都来瀚^[12]在研究岩质滑坡的变形演化行为并作出准确的预警预报时,利用临界 HURST 指数分形分析失稳判据的预测报告。史兴旺等^[13]利用分形理论对云南省滑坡灾害进行研究,发现分维值能够定量地表征滑坡灾害与各影响因素的敏感性关系。

文中用分形理论中的“盒维数法^[14-15]”来研究浙江省地质灾害的分布特征与成因分析,用分维值作为定量评价指标,结合水系分布、降水量、地形坡度、坡高、地层岩性、道路分布及地形地貌等因素的分形特征与浙江省地质灾害空间分布的分形特征进行比较。本文研究所需的浙江省地质灾害分布数据(图 1)来源于中国

地质环境监测院开发的“地质云 3.0”中的地质图件《中国崩塌滑坡泥石流分布图》(编号:4180202052018386 2661)。

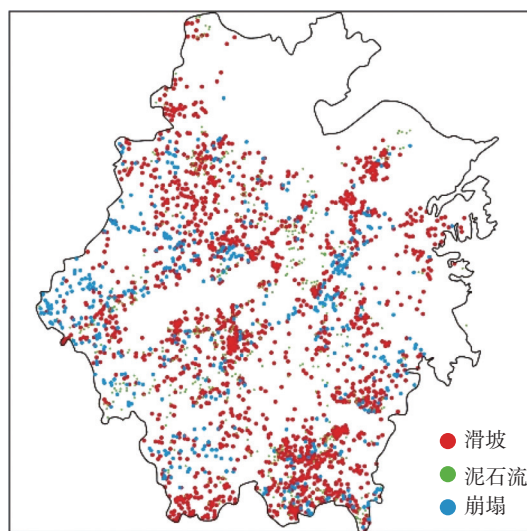


图 1 浙江省地质灾害点分布图

Fig. 1 Distribution of geological hazards in Zhejiang Province

1 浙江省地质灾害分布概况

浙江省地形多是以山地丘陵为主,地质状况复杂,突发性地质灾害易发区面积约 $6.67 \times 10^4 \text{ km}^2$, 占全省陆域面积的 65.5%^[16]。崩塌、滑坡、泥石流等地质灾害主要发生在丘陵山区。灾害规模以小型灾害为主,主要分布于浙江省西北、西南和中南等丘陵山区。近年来,浙江省地质灾害频发,据《浙江省自然资源与环境统计年鉴(2019)》^[17]统计,自 2010 年至 2018 年,浙江省共发生地质灾害 3 988 起,其中滑坡灾害共 2 196 起,崩塌灾害共 1 353 起,泥石流灾害共 416 起。

浙江省的滑坡灾害分布广泛^[18],主要是中小型滑坡,浙江省东北部分布较少,其他地区灾害发育较多。江山-绍兴深断裂以西的浙江省西北部沉积岩分布区域的滑坡主要是以沉积岩为主的岩质滑坡。江山-绍兴深断裂以东的浙江省东南山区的滑坡主要是以火山岩为主的岩质滑坡。

崩塌地质灾害主要发生在基岩地区,一般与地形、岩体结构、构造、大气降水和人为作用关系密切,尤其是在人为开挖形成陡坡地段。浙江省西部地区的崩塌地质灾害比东部地区的多,而且西部地区的崩塌地质灾害点比较密集,浙江省北部地区的崩塌地质灾害点比南部地区少的多。

浙江省常遭受台风暴雨侵袭,地质灾害发生频繁,浙江省南部的泥石流灾害比北部发育的多,而且地质灾害点比较密集^[19]。在空间分布上,台风期发生泥石流在全省均有分布,东南一带密度稍大,而梅汛期发生泥石流则较明显的集中在西部地区,总体上则东南沿海一带密度要大于西部。

2 浙江省地质灾害空间分布的分形特征

2.1 分形理论及分维值计算

分形理论是现如今十分风靡和活跃的新理论、新科学,是以非整数维形式填充空间的形态特征。分形理论的数学基础是分形几何学,即由分形几何衍生出分形信息、分形设计、分形艺术等应用。分形理论已在地质学的各个领域得到广泛的应用,对地质灾害的分布特征和成因分析有一定的指导意义。

分形分维是度量不规则系统自相似性程度大小的参数,文中采用盒维数法^[14]计算分维值,盒维数法使用半径为 r 的圆或边长为 r 的正方形(称之为盒子 Box)去覆盖分形表面或曲线,所需盒子的数目将随 r 而变化。如果所量测的对象具有分形特性,则 $N(r)-r$ 满足以下关系:

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

式中: $N(r)$ ——与研究对象相交的正方形个数;

k ——常数;

D ——分维值;

r ——尺度。

对式(1)两边取对数得:

$$D = -\lim_{r \rightarrow 0} \frac{\ln(N(r)/k)}{\ln(1/r)} \tag{2}$$

盒维数易算易理解,可以简单的通过计算机求得,因此盒维数成为分维测定方法中应用最广泛的方法,故本文在对浙江省地质灾害分布进行分形描述时所采用的方法为盒维数法。

在图 1 的基础上,将图 1 分别等分成 2×2、4×4、8×8、16×16、32×32,并将这些等分图叠图在一起,如图 2 所示。算出不同底图的小正方形的边长(r),求出 $\ln r$ 的值;其次,分别在不同底图上数出所需的格子数($N(r)$),

求出 $\ln N(r)$ 的值;然后,在 origin 中处理得出的数据,得到散点图;最后用最小二乘法处理散点图,得到一条关于 $\ln N(r)-\ln r$ 的拟合直线,该拟合直线斜率的绝对值即为所求分维值,其中相关系数 R^2 是拟合回归后对拟合回归效果的一个评价指标, R^2 越接近于 1,表示拟合回归效果越好,也就说明所计算出的分维值越正确。

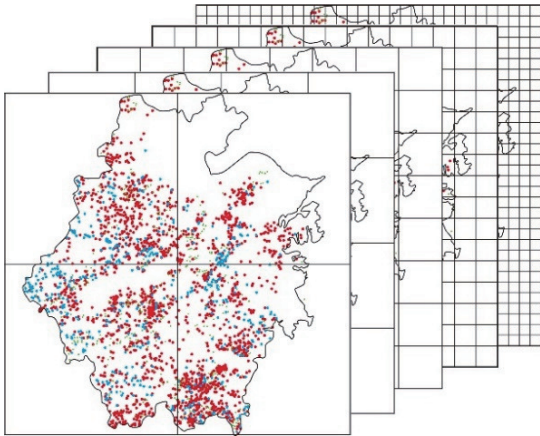


图 2 浙江省地质灾害盒维覆盖图
Fig. 2 Geological hazard box dimension coverage in Zhejiang Province

结果表明,浙江省不同种类的地质灾害分布的分形特征明显,其中,滑坡灾害分布的分维值与浙江省总体地质灾害分布分维值最接近,这就说明滑坡灾害分布对浙江省地质灾害的分布有重要影响(表 1)。

表 1 各类地质灾害点分布的拟合函数及分维值
Table 1 Fitting function and fractal dimension value of the spatial distribution of various disaster types

灾害类型	拟合函数	分维值	相关系数
总地质灾害	$y = -1.692\ 4x + 10.484$	1.692 4	0.999 6
滑坡	$y = -1.646x + 10.248$	1.646 0	0.999 4
崩塌	$y = -1.498\ 4x + 9.442\ 7$	1.498 4	0.997 3
泥石流	$y = -1.413\ 2x + 9.076\ 5$	1.413 2	0.994 8

2.2 基于多重分形理论的浙江省地质灾害空间分布特征

分形理论中,多重分形^[20]是一种重要的研究方法,通过多个分维数构成多重分形谱来描述研究对象的分形特征。引入多重分形的概念,采用多重分形测度实现多层次刻画空间内部精细结构的目的,进而实现地质灾害空间分布定量化表征。

在 8×8 底图基础上,将 64 个小格再重新分成 2×2、4×4、8×8、16×16、32×32,分别计算不同区域地质灾害空间分布分维值。将计算得出的数据导入 origin,绘制出地质灾害分布分维值的等高线图。

图 3 是将分维值等高线图与浙江省行政区划图叠

加,由图可看出,浙江省地质灾害空间分布分维值由北向南先逐渐增加再缓慢减小最后逐渐增加,在浙江省西北和东南地区分维值较高,温州市达到峰值,嘉兴市处于谷值。由此可知,浙江省西北和东南地区地质灾害发育程度比较强烈,其中杭州市和丽水市地质灾害发育较强烈,温州市地质灾害发育最强烈。在制定地质灾害防治措施时,温州市、杭州市和丽水市是重点防治地区。

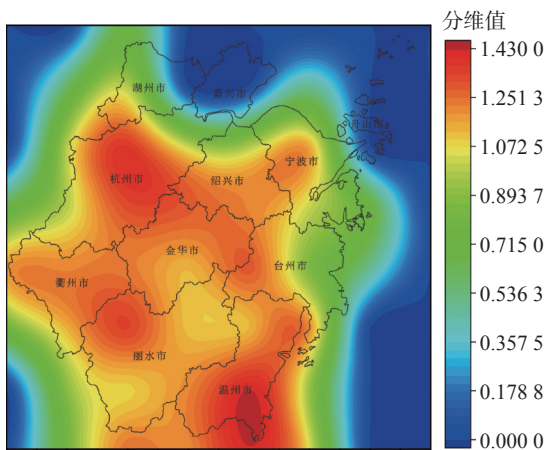


图 3 浙江省地质灾害分维值分布图
Fig. 3 Distribution map of fractal dimension value of geological hazards in Zhejiang Province

据《浙江省自然资源与环境统计年鉴(2019)》^[17]统计,2010年至2018年间浙江省地质灾害发生次数如表2所示,由此可知,温州市发生地质灾害最多,共发生755起;丽水市和杭州市发生地质灾害较多,其中丽水市共发生692起、杭州市共发生606起;嘉兴市、台州市、舟山市发生地质灾害少。以上统计与上述由分维值分析得出的灾害分布结论相一致,验证了文中分维值分析地质灾害分布特征的正确性。

表 2 2010—2018 年浙江省各市地质灾害发生次数
Table 2 The number of geological hazards in cities in Zhejiang Province from 2010 to 2018

灾害类型地区	滑坡/次	崩塌/次	泥石流/次	总计/次
杭州市	231	280	95	606
宁波市	239	192	62	493
温州市	567	114	74	755
嘉兴市	49	46	12	107
湖州市	34	117	10	161
绍兴市	203	151	29	383
金华市	69	47	9	125
衢州市	367	114	45	529
舟山市	21	22	0	43
台州市	24	19	4	47
丽水市	375	241	76	692

3 浙江省地质灾害影响因素的分形分析

影响地质灾害发育的因素很多,文中主要从水系分布、降水量、地形坡度、坡高、地层岩性及人类工程活动(道路修建分布)等方面来分析,其中地形地貌是控制地质灾害分布的因素。

3.1 水系分布对地质灾害分布的影响

对浙江省水系分布图和地质灾害点分布图作叠图,分别计算不同水系的分维值和在不同水系条件下地质灾害分布分维值,由此来分析不同复杂程度的水系对地质灾害发育的影响,得出的结果如表3所示。

表 3 不同水系地质灾害分布分维值
Table 3 Fractal dimension value of the distribution of geological hazards in different water systems

分维值八大水系	水系		地质灾害	
	分维值	相关系数	分维值	相关系数
苕溪水系	1.381 8	0.943 7	1.208 9	0.949 6
运河水系	1.168 4	0.936 8	0	0
甬江水系	1.208 9	0.992 3	0.891 9	0.922 5
钱塘江水系	1.468 6	0.991 1	1.420 4	0.989 6
椒江水系	1.068 9	0.972 2	0.948 9	0.982 7
瓯江水系	1.401 2	0.994 1	1.356 9	0.994 2
飞云江水系	0.983 2	0.939 4	0.961 0	0.942 8
鳌江水系	0.780 7	0.934 7	0.762 1	0.938 9

水系越复杂,水系分维值也就越高。而水系越复杂,河流对流域范围内地表的切割作用与对岩层的侵蚀作用越明显,从而诱发地质灾害。从表3数据可看出,钱塘江水系和瓯江水系的分维值较高,表明这两个水系是比较复杂;而钱塘江水系和瓯江水系区域内的地质灾害分维值较高,表明这两个水系区域内地质灾害发育较明显。

3.2 降雨量分布对地质灾害分布的影响

对浙江省地质灾害分布图和降雨量分布图作叠图,计算不同降雨量范围内崩塌、滑坡、泥石流三种地质灾害分布分维值,由此来得出地质灾害的发育情况,得出的结果如表4所示。

从表4数据可看出,在降雨量为2 232~2 565 mm范围之间,崩塌、滑坡、泥石流灾害的分布分维值最高,则表明在此范围内崩塌、滑坡、泥石流发育明显;在同一降雨量范围内,滑坡灾害分布分维值最高,则表明滑坡灾害在三种地质灾害中发育最明显。

3.3 坡度分布对地质灾害分布的影响

地形坡度,为地质灾害的发生提供了地形条件。对浙江省坡度分布图^[18]和地质灾害点分布图作叠图,分别

表 4 不同降雨量范围内地质灾害分布分维值
Table 4 Fractal dimension value of geological hazard distribution in different rainfall ranges

地质灾害降雨量/mm	分维值		
	崩塌	滑坡	泥石流
1 231 ~ 1 565	0	0.622 9	0.493 7
1 565 ~ 1 898	1.041 1	1.251 7	0.92
1 898 ~ 2 232	1.284	1.449	1.221 1
2 232 ~ 2 565	1.340 2	1.513 8	1.320 3

计算不同坡度范围内地质灾害分布分维值,由此来分析坡度对地质灾害发育的影响情况。

从表 5 数据可看出,在坡度 25°~35°范围内,崩塌、滑坡、泥石流灾害分维值最大,则表明地质灾害地形坡度为 25°~35°范围内较为发育;在同一坡度范围内,滑坡灾害分布分维值最高,表明地形坡度对滑坡灾害发育影响最明显的。

表 5 不同坡度范围内地质灾害分布分维值
Table 5 Fractal dimension value of geological hazards distribution in different slope ranges

地质灾害坡度/(°)	分维值		
	崩塌	滑坡	泥石流
≤8	0.628 1	0.911 3	0.523 1
8 ~ 15	1.025 9	1.255 8	1.009 9
15 ~ 25	1.126 5	1.364 6	1.098 3
25 ~ 35	1.181 7	1.441 8	1.154 8
>35	0.904 5	1.042 2	1.040 1

3.4 坡高分布对地质灾害分布的影响

将浙江省地质灾害分布图和海拔高度分布图作叠图,分别计算不同海拔高度范围内崩塌、滑坡、泥石流三种地质灾害分布分维值,由此来得出地质灾害的发育情况,得出的结果如表 6 所示。

从表 6 数据可看出,在坡高为 500~1 000 m 之间,崩塌、滑坡、泥石流的分维值最高,则表明在此范围内崩塌、滑坡、泥石流发育明显;在同一坡高范围内,滑坡灾害的分布分维值最高,则表明滑坡灾害是三种地质灾

表 6 不同海拔高度范围内地质灾害分布分维值
Table 6 Fractal dimension value of geological hazards distribution in different altitude ranges

地质灾害坡高/m	分维值		
	崩塌	滑坡	泥石流
0 ~ 300	0.758 5	1.092 5	0.717 6
300 ~ 500	1.146 0	1.396 1	1.118 2
500 ~ 1 000	1.271 6	1.448 2	1.184 4
1 000 ~ 1 500	1.044 8	1.264 6	1.063 0

害中发育最明显的。

3.5 地层岩性分布对地质灾害分布的影响

浙江省自元古界至第四系发育完全,分别计算不同年代地层分布分维值。

从表 7 数据可看出,侏罗系地层分布分维值最高,其分维值为 1.668 4,接近于地质灾害分布分维值,由此可知侏罗系地层对地质灾害发育有较大影响;第四系和白垩系地层分布分维值接近于滑坡灾害分布分维值,可知第四系和白垩系地层对滑坡灾害发育有较大影响。

表 7 不同地层岩性分布分维值
Table 7 Fractal dimension value of different strata lithology distribution

分维值地层		分维值	相关系数
中生代	第四系	1.500 7	0.999 5
	古近系+新近系	1.190 0	0.980 6
	白垩系	1.448 3	0.997 7
	侏罗系	1.668 4	0.999 9
泥盆-三叠系	三叠系	1.422 3	0.996 8
	二叠系	1.368 3	0.987 5
	石炭系	1.115 9	0.975 1
	泥盆系	1.159 0	0.996 4
震旦志留系	志留系	0.988 4	0.989 9
	奥陶系	1.077 1	0.993 5
	寒武系	1.249 4	0.996 3
	震旦系	0.879 3	0.990 0

3.6 人类工程活动对地质灾害分布的影响

人类工程活动对地质环境的干扰和破坏作用也是地质灾害发育的一个重要因素,主要是削山建房、过度采矿、道路建设等。浙江省近年来道路建设比较多,以道路建设为例对地质灾害发育的影响进行分析(表 8)。

表 8 不同道路分布分维值
Table 8 The distribution fractal dimension value of the different road

类型	拟合函数	分维值	相关系数
高速	$y = -1.489\ 4x + 9.410\ 8$	1.489 4	0.999 3
铁路	$y = -1.266\ 1x + 8.248\ 5$	1.266 1	0.997 8
国道	$y = -1.406\ 5x + 8.995\ 2$	1.406 5	0.994 7
省道	$y = -1.510\ 6x + 9.578\ 3$	1.510 6	0.996 7
全部道路	$y = -1.643\ 3x + 10.232$	1.643 3	0.999 3

浙江省道路分布分维值为 1.643 3,接近于地质灾害分布分维值。由此可知,浙江省道路分布对地质灾害的发育有较大的影响。其中省道分布的分维值($D=1.510\ 6$)最接近于地质灾害分布的分维值,所以浙江省的道路分布中,省道分布对地质灾害发育的影响比较大。

3.7 地形地貌对地质灾害分布的控制情况

地形地貌是地质灾害分布的控制因素,将浙江省地形地貌图^[18]和地质灾害点分布图做叠图,分别计算不同地形地貌范围内崩塌、滑坡、泥石流灾害分布分维值。

从表 9 数据可看出,山地地形内,崩塌、滑坡、泥石流灾害分布分维值最大,表明地质灾害易发生在山地地区;在同一种地形地貌内,滑坡灾害分布分维值最高,表明浙江省滑坡灾害较为发育。在进行地质灾害防治工作时,可将山地地区作为重点防治区域。

表 9 不同地形地貌范围内地质灾害分布分维值
Table 9 Fractal dimension value of geological hazards distribution in different topographic and landform ranges

地质灾害地形地貌	分维值			
	崩塌	滑坡	泥石流	总地质灾害
山地	1.400 1	1.628 4	1.387 4	1.646 5
丘陵	0.513 8	0.915 4	0.483 7	0.930 6
台地	0.221 1	0.758 5	0.117	0.649 6
平原	0.966 6	1.242 3	0.792 5	1.292 2
洼地	—	—	—	—

4 结论

基于分形理论和多重分形理论,研究地质灾害空间分布的分形特征,以及地质灾害发育的影响因素,主要得出以下几条结论:

(1)浙江省地质灾害空间分布具有明显分形特征,西北和东南地区地质灾害空间分布分维值较高,地质灾害分维值峰值出现在东南地区。西北和东南地区地质灾害发育比较强烈,其中东南地区发育最强烈。

(2)水系的分布对地质灾害的分布有一定的影响;在降雨量 2 232 ~ 2 565 mm 范围,崩塌、滑坡、泥石流发育明显,而滑坡在三种地质灾害中发生最多;地质灾害在坡度为 25° ~ 35° 范围内较为发育;在坡高为 500 ~ 1 000 m 之间,崩塌、滑坡、泥石流发育明显,其中滑坡灾害发生最多;侏罗系地层对地质灾害发育有较大影响,第四系和白垩系地层对滑坡灾害发育有较大影响;人类工程活动即道路施工,对地质灾害的发育有较大的影响;山地地形范围内地质灾害发育明显,其中滑坡灾害发育较多。

(3)运用分形理论研究地质灾害空间分布特征是一种定量的分析方法,具有预测地质灾害的能力,能够为地质灾害的防治提出重点防治区域。

参考文献(References):

[1] 潘懋,李铁锋.灾害地质学[M].北京:北京大学出版

社,2002. [PAN Mao, LI Tiefeng. Disaster geology [M]. Beijing: Peking University Press, 2002. (in Chinese)]

[2] 段晨玉,张以晨,张继权,等.基于GIS的地质灾害风险预警系统设计[J]. 灾害学,2022,37(1): 199-204. [DUAN Chenyu, ZHANG Yichen, ZHANG Jiquan, et al. Design of geological disaster risk early warning system based on GIS [J]. Journal of Catastrophology, 2022, 37(1): 199-204. (in Chinese with English abstract)]

[3] 江南.盒维数概念的历史演变[J]. 自然辩证法研究,2020,36(10): 84-90. [JIANG Nan. The historical evolution of the concept of box dimension [J]. Studies in Dialectics of Nature, 2020, 36(10): 84-90. (in Chinese with English abstract)]

[4] 周琰嵩.云南省嵩明县地质灾害发育规律与致灾因素分析[D].北京:中国地质大学(北京),2018. [ZHOU Yansong. Analysis on the development law and disaster factors of geological disasters in Songming County, Yunnan Province [D]. Beijing: China University of Geosciences, 2018. (in Chinese with English abstract)]

[5] 菊春燕,贾永刚,潘玉英,等.基于分形理论旅游景区地质灾害危险性评估——以青岛崂山为例[J]. 自然灾害学报,2013,22(6): 85-95. [JU Chunyan, JIA Yonggang, PAN Yuying, et al. Geohazard assessment of tourist attractions based on fractal theory: A case study of Qingdao Laoshan [J]. Journal of Natural Disasters, 2013, 22(6): 85-95. (in Chinese with English abstract)]

[6] 桂蕾,殷坤龙.基于多重分形理论的滑坡地表监测位移分析[J]. 中南大学学报(自然科学版),2014,45(11): 3908-3914. [GUI Lei, YIN Kunlong. Analysis of landslide surface monitoring displacement based on multi-fractal theory [J]. Journal of Central South University (Science and Technology), 2014, 45(11): 3908-3914. (in Chinese with English abstract)]

[7] 姜恩三,任光明,陈锦涛.四川省普格县地质灾害发育的分形特征[J]. 中国地质灾害与防治学报,2016,27(3): 122-126. [JIANG Ensan, REN Guangming, CHEN Jintao. The fractal characteristics of the geological hazards development of Pugh County Sichuan Province [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2016, 27(3): 122-126. (in Chinese with English abstract)]

[8] 王森,许强,罗博宇,等.基于分形理论的南江县滑坡敏感性分析与易发性评价[J]. 水文地质工程地质,2017,44(3): 119-126. [WANG Sen, XU Qiang, LUO Boyu, et al. Vulnerability analysis and susceptibility evaluation of landslides based on fractal theory in Nanjiang County [J]. Hydrogeology & Engineering Geology, 2017, 44(3): 119-126. (in Chinese with English abstract)]

[9] 王潇,刘婷,姚昆,等.分形理论在达州市达川区滑坡灾

- 害研究中的应用 [J]. [人民长江](#), 2019, 50(2): 144–150. [WANG Xiao, LIU Ting, YAO Kun, et al. Application of fractal theory to landslide disaster research in Dachuan District, Dazhou City [J]. [Yangtze River](#), 2019, 50(2): 144–150. (in Chinese with English abstract)]
- [10] 乔朋腾. 吕梁山滑坡崩塌发育规律及易发性研究 [D]. 西安: 长安大学, 2019. [QIAO Pengteng. Study on development regularity and susceptibility of landslide and collapse in Lv-Liang Mountains [D]. Xi'an: Changan University, 2019. (in Chinese with English abstract)]
- [11] 陶洁. 基于分形理论和显著性分析的滑坡提取研究 [D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2020. [TAO Jie. Study on extraction of landslide based on fractal theory and saliency analysis [D]. Beijing: China University of Geosciences, 2020. (in Chinese with English abstract)]
- [12] 都来瀚. 基于分形理论的岩质滑坡失稳判据与形变预测研究 [D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2020. [DU Laihan. Study about instability criterion and deformation prediction of rock slope based on fractal theory [D]. Beijing: China University of Geosciences, 2020. (in Chinese with English abstract)]
- [13] 史兴旺, 管新邦, 边筠. 云南省滑坡灾害分形特征研究与分形评价模型探讨 [J]. [自然灾害学报](#), 2021, 30(3): 209–216. [SHI Xingwang, GUAN Xinbang, BIAN Yun. Study on fractal characteristics and fractal evaluation model of landslide hazards in Yunnan Province [J]. [Journal of Natural Disasters](#), 2021, 30(3): 209–216. (in Chinese with English abstract)]
- [14] 孔庆鸽. 分形插值函数的盒维数及应用 [D]. 杭州: 浙江大学, 2018. [KONG Qingge. Box dimension and applications of fractal interpolation functions [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2018. (in Chinese with English abstract)]
- [15] 曹俊贤, 宋春林. 分形维数的计算及改进 [J]. [信息技术与信息化](#), 2017(10): 19–23. [CAO Junxian, SONG Chunlin. Calculation and improvement of the fractal dimension [J]. [Information Technology and Informatization](#), 2017(10): 19–23. (in Chinese with English abstract)]
- [16] 张磊, 陈张建, 黄丽. 浙江省地质灾害防治管理平台设计与实现 [J]. [中国地质灾害与防治学报](#), 2020, 31(2): 102–110. [ZHANG Lei, CHEN Zhangjian, HUANG Li. Design and implementation of Zhejiang Province geological disaster prevention management platform [J]. [The Chinese Journal of Geological Hazard and Control](#), 2020, 31(2): 102–110. (in Chinese with English abstract)]
- [17] 浙江省自然资源与环境统计年鉴(2019) [M]. 北京: 中国统计出版社, 2019. [Zhejiang Province natural resources and environment statistical yearbook (2019) [M]. Beijing: China Statistics Press, 2019. (in Chinese)]
- [18] 祝杨菲, 梁勤欧, 林德根. 浙江省滑坡地质灾害风险地图制图综合研究 [J]. [国土与自然资源研究](#), 2019(3): 34–41. [ZHU Yangfei, LIANG Qinou, LIN Degen. Research on mapping of landslide geological hazard risk map in Zhejiang region, China [J]. [Territory & Natural Resources Study](#), 2019(3): 34–41. (in Chinese with English abstract)]
- [19] 冯杭建, 周爱国, 唐小明, 等. 浙江省泥石流灾害发育分布规律及区域预报 [J]. [地球科学](#), 2016, 41(12): 2088–2099. [FENG Hangjian, ZHOU Aiguo, TANG Xiaoming, et al. Development and distribution characteristics of debris flow in Zhejiang Province and its regional forecast [J]. [Earth Science](#), 2016, 41(12): 2088–2099. (in Chinese with English abstract)]
- [20] 王若谷. 露天煤矿排土场地貌多重分形特征及其与岩土侵蚀关系 [D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2019. [WANG Ruogu. The relationship between soil erosion and multi-fractal parameters of landform in an opencast coal-mine dump in a loess area of China [D]. Beijing: China University of Geosciences, 2019. (in Chinese with English abstract)]