

强菲, 赵法锁, 段钊. 陕南秦巴山区地质灾害发育及空间分布规律[J]. 灾害学, 2015, 30(2): 193–198. [Qiang Fei, Zhao Fasuo and Duan Zhao. Development and spatial distribution of geological disasters in Qinling-daba mountains of south Shaanxi [J]. Journal of Catastrophology, 2015, 30(2): 193–198.]

# 陕南秦巴山区地质灾害发育及空间分布规律<sup>\*</sup>

强菲<sup>1</sup>, 赵法锁<sup>1</sup>, 段钊<sup>2</sup>

(1. 长安大学 地质工程与测绘学院, 陕西 西安 710054; 2. 西安科技大学, 陕西 西安 710054)

**摘要:**为进一步研究陕南秦巴山区地质灾害发育及空间分布规律,对区内地质灾害的数量、规模、物质组成等进行概率统计分析,结果显示:该区地质灾害以堆积层滑坡为主,岩质崩塌次之;滑坡规模以小型、浅层和等长式为主,崩塌以小型、等长式为主。地质灾害空间点密度呈“四高两低”分布,崩塌呈“三高四低”分布,泥石流呈“三高两低”分布。地质灾害、断裂、河流及道路的空间分布具有分形特征。滑坡(崩塌)面积与体积(长、宽)之间具有幂律相依性,面积与体积符合对数正态分布。结论为陕南秦巴山区移民搬迁安置选址提供技术支持。

**关键词:** 陕南; 秦巴山区; 地质灾害; 发育; 空间分布

**中图分类号:** P642.22; X43 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000–811X(2015)02–0193–06

**doi:** 10.3969/j.issn.1000–811X.2015.02.037

陕南行政区划上包括陕西省汉中、商洛、安康三市,共28个县(区)。该区属秦巴山区,区内沟谷纵横,地形起伏大,地貌形态复杂多样,北部秦岭横亘,南部大巴山盘踞,汉江横贯中部,盆地星散分布于群山之间<sup>[1]</sup>。受复杂的地质构造、深大断裂及强烈的流水侵蚀、新构造运动等内外地质作用的影响,突发性滑坡、崩塌、泥石流及地面塌陷等地质灾害的发生几率很高,破坏力极强,加之陕南地质环境脆弱、气候变化及人类工程活动频繁,以崩滑流为主的地质灾害(隐患)数量多、分布广、密度大、频次高,危害严重<sup>[2–3]</sup>。同时,人类工程活动的加剧进一步恶化了该区地质灾害发育条件,导致地质灾害的危害程度日趋严重。据不完全统计,陕南地区目前受威胁对象共15 148户,251 971人,165 701间房,直接经济损失高达21.56亿元。本文对陕南秦巴山区地质灾害的发育和空间分布规律进行分析总结,为陕南秦巴山区移民搬迁安置选址提供技术支持,并为该区地质灾害的系统认识及宏观分析研究提供可靠依据。

育地质灾害共计4 177处,其中滑坡3 610处,崩塌225处、不稳定斜坡89处、泥石流219处、地面塌陷34处(图1、图2)。以滑坡为主,其次为崩塌和泥石流,其他灾害发育相对较少。

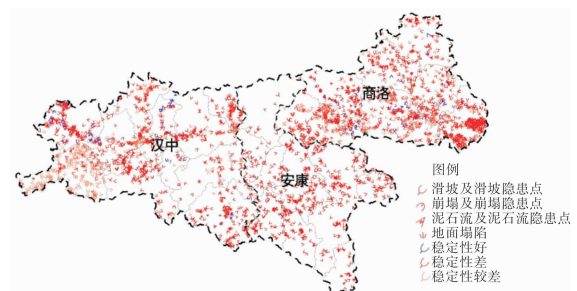


图1 陕南秦巴山区灾害分布图

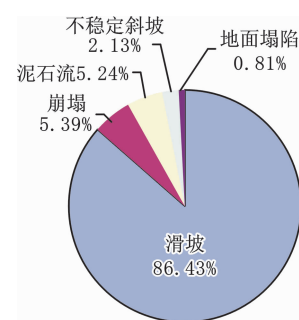


图2 灾害类型比例

## 1 地质灾害发育类型、规模及物质组成

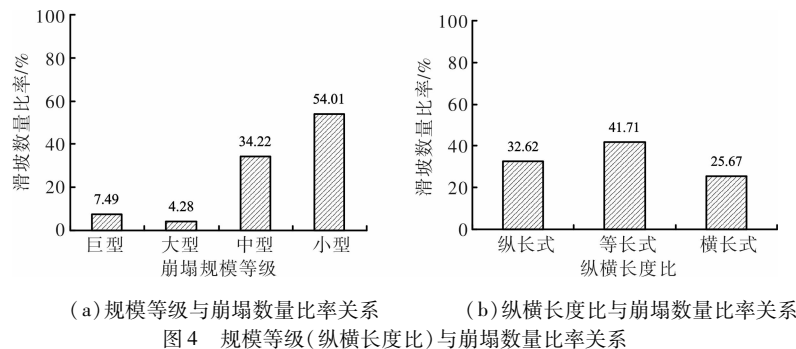
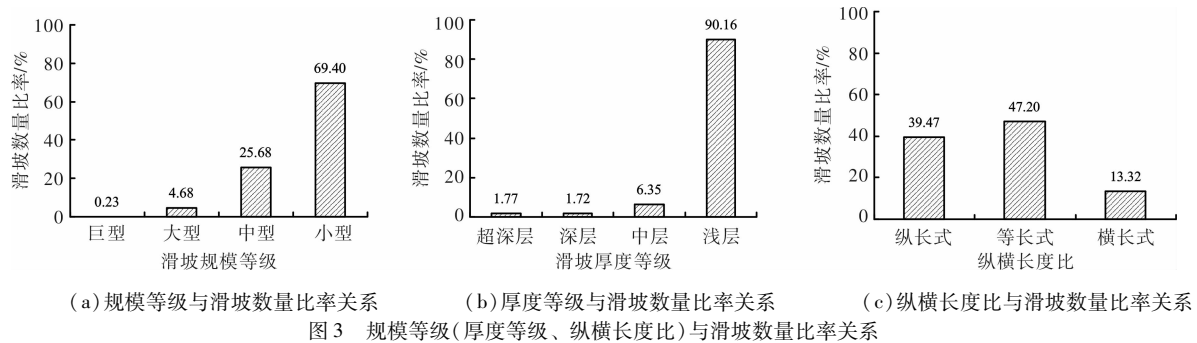
### 1.1 地质灾害发育类型

陕南秦巴山区地质灾害发育类型有滑坡、崩塌、泥石流、地面塌陷、不稳定斜坡5种。现状发

<sup>\*</sup> 收稿日期: 2014–09–14 修回日期: 2014–11–06

基金项目: 陕西省科技计划项目—社会发展公关计划(s2012sf3082); 西安科技大学科研培育基金(201309)

作者简介: 强菲(1986–), 女, 陕西志丹人, 博士研究生, 主要从事黄土滑坡形成机理方面的研究. E-mail: 382671887@qq.com



## 1.2 地质灾害发育规模

由各规模等级、厚度等级、纵横长度比的滑坡数量比率(占滑坡总数)直方图(图3)可见,区内滑坡以小型、浅层、等长式为主<sup>[4-6]</sup>,同理,各规模等级、纵横长度比的崩塌数量比率(占崩塌总数)如图4所示,区内崩塌以小型、等长式为主。由图3可见,仅滑坡规模等级与滑坡数量比率(图3a)呈很好的乘幂关系,而厚度等级和纵横长度比与滑坡数量比率(图3b、图3c)无乘幂规律。由图4可见,崩塌规模等级、纵横长度比与崩塌数量比率均无乘幂规律。

经统计,区内巨型滑坡8处,个数仅占滑坡总数的0.23%,而其面积占所有滑坡总面积的14.6%,体积占所有滑坡总体积的69.44%;巨型崩塌1处,个数仅占崩塌总数的7.49%,而其面积占所有崩塌总面积的27.77%,体积占所有崩塌总体积的56.92%。将滑坡(崩塌)面积(体积)取对数与累计滑坡(崩塌)面积(体积)百分比绘制关系曲线(图5)。由图5可见,随着滑坡(崩塌)面积(体积)增大,对该区累计滑坡(崩塌)面积(体积)的影响越大,因此,巨型滑坡(崩塌)在陕南秦巴山区所有滑坡(崩塌)总面积和总体积中起着主导性作用。

## 1.3 地质灾害物质组成

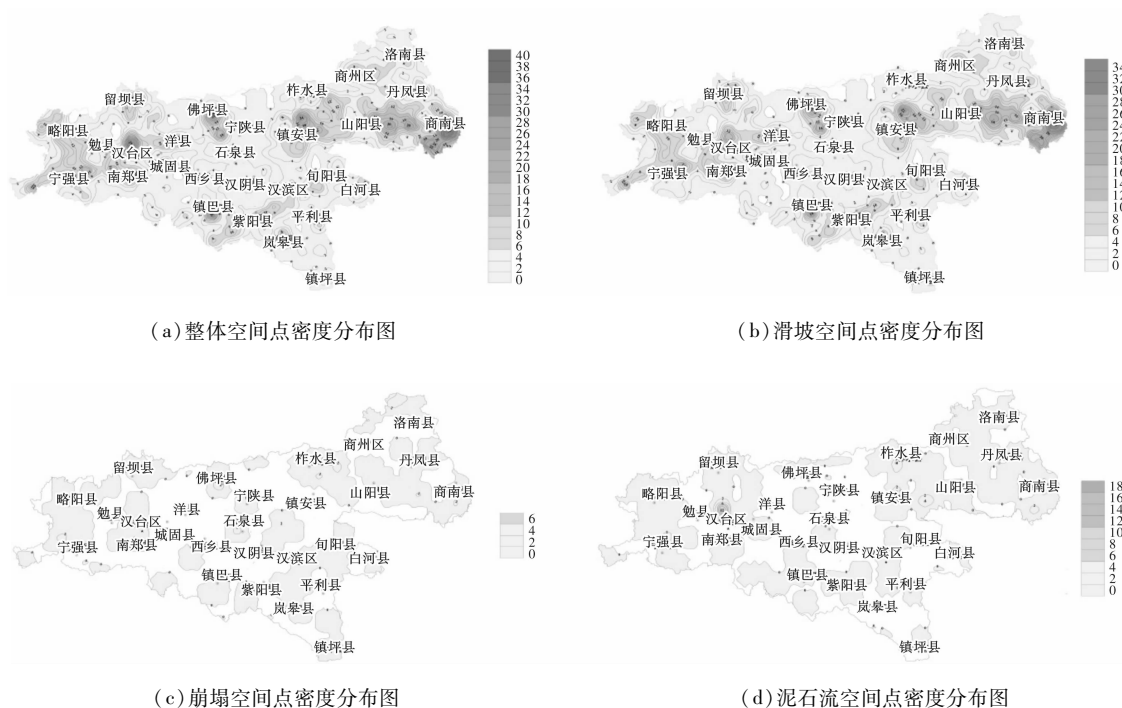
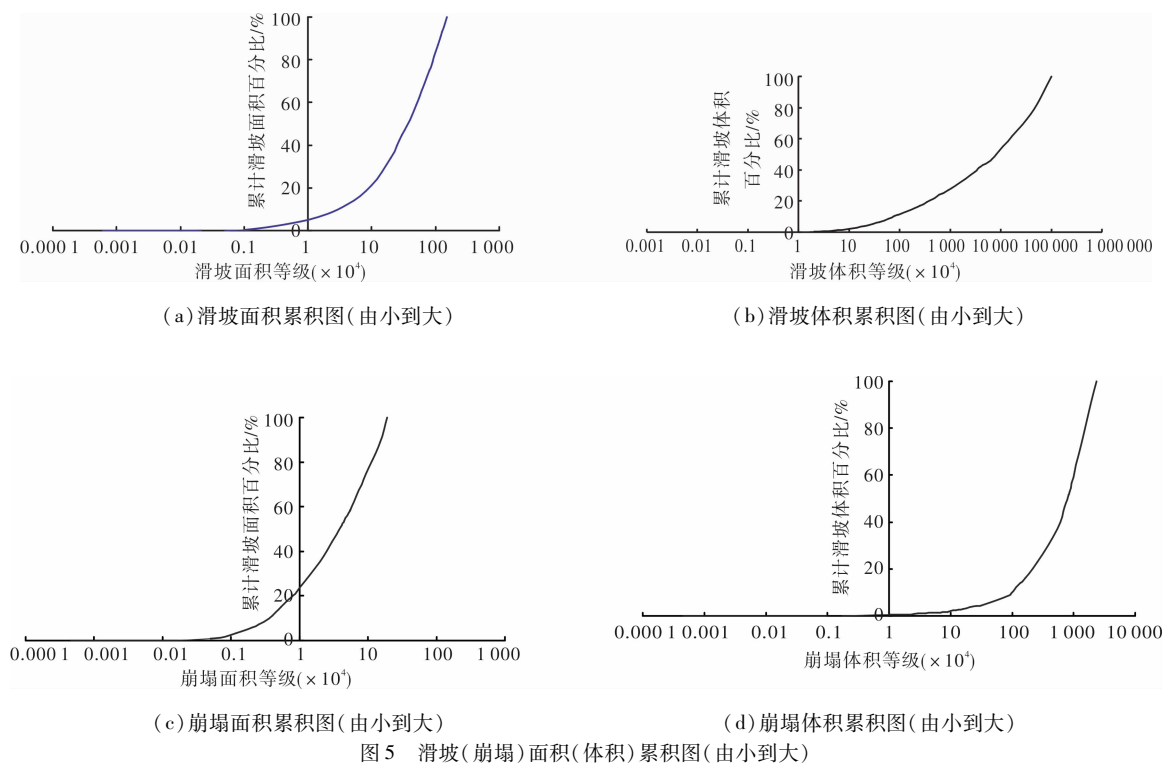
陕南秦巴山区滑坡按物质组成为土质滑坡和岩质滑坡,其中土质滑坡占滑坡总数的93.74%。土质滑坡中堆积层滑坡占94.95%,粘性土滑坡较少。堆积层滑坡滑体物质由第四系坡积物、残积物、粉土、粉质粘土及岩屑碎石组成,是陕南分布最广、数量最多、发生频率最高的滑坡类型。该类滑坡滑坡形态明显、完整,滑面多

位于堆积层与下覆基岩分界面处或堆积层内部,大多数处于初期蠕动变形阶段,诱发因素主要为暴雨或连阴雨,突发性强是其灾变的主要特点。岩质滑坡受控于岩性,滑带主要产生于岩体软弱夹层、构造破碎带,或临空面形成过程中的卸荷裂隙等;滑面多为折线型或直线型,倾角 $30^{\circ} \sim 40^{\circ}$ ;滑体由基岩岩石或与其上的松散堆积物共同构成,多发生在页岩、板岩、千枚岩或强烈风化的岩浆分布区,特点是规模大、突发性强。崩塌均为岩质崩塌,多发生于高陡斜坡,坡度 $35^{\circ} \sim 60^{\circ}$ 。风化作用和重力作用使节理裂缝扩张贯通,加上基岩裂隙水的溶蚀作用,特别是人为开采中的强振或暴雨,均是陕南崩塌产生的重要原因。

## 2 地质灾害空间分布

### 2.1 地质灾害空间点密度分布

陕南秦巴山区总面积 $15\,472.5\text{ km}^2$ ,采用1:50万比例尺制图,将其剖分为764个 $10\text{ km} \times 10\text{ km}$ 的单元网格,在此基础上进行灾点密度的量化与提取(图6)。由图6a可见,陕南地质灾害整体空间点密度自西向东呈“四高两低”区域分布。“四高”区:略阳—宁强—勉县—南郑—汉台—留坝区、佛坪—宁陕区、镇巴—紫阳—汉滨区、镇安—柞水—山阳—商南区。“两低”区为以汉中、安康盆地为中心的区域。点密度最高处位于汉台区北部和商南县中南部。由于区内地质灾害以滑坡为主,其空间点密度图与整体相似(图6b)。崩塌空间点密度自西向东呈“三高四低”区域分布(图6c)。“三高”区:略阳—宁强—南郑—城固—汉台—留坝区、镇巴—紫阳—汉滨—旬阳—镇安—



柞水区、洛南—商州—丹凤—商南区。“四低”区为以勉县、山阳、岚皋—镇坪为中心的区域及佛坪—洋县—西乡—汉阴—宁陕的环形区域，最高点密度位于汉台区北部。泥石流空间点密度分布较星散，自西向东近似呈“三高两低”区域分布(图 6d)。“三高”区：略阳—宁强—南郑—汉台—留坝区、镇巴—紫阳—岚皋—镇坪—平利—旬阳—汉滨—石泉—宁陕—佛坪区、柞水—山阳—商南—丹

凤—洛南区。“两低”区为以勉县—城固—洋县—西乡—汉阴—镇安、商州为中心的区域。

## 2.2 地质灾害空间分布特征

陕南秦巴山区受内部风化破碎的地层岩性、复杂多变的地形地貌、纵横交错的断裂构造及外部区域性气象水文条件、剧烈的人类工程活动因素的影响，地质灾害在空间上呈现地域性、分散性、聚集性和链生性。地域性表现为各县灾点密

度与该县占陕南地区的面积比率呈负相关关系(见图7)。分散性表现为灾害分布地点分散,空间分布上“星罗棋布”,呈现“点”格局的分布状态<sup>[7]</sup>。聚集性表现为发育聚集性、规模聚集性、威胁对象聚集性等,图5反映出滑坡(崩塌)规模的聚集性,图6反映出地质灾害发育的聚集性,图7反映出陕南各县(区)灾害集中发育程度,发育的聚集性进而导致威胁对象的聚集性。链生性表现为空间上彼此相依,在成因上相互联系、互为因果,呈连锁反应依次出现的几种灾害组成的灾害链<sup>[7]</sup>,如2000年6月,镇坪县斐河、曾家等地突降暴雨,发生数量众多的滑坡,水土流失严重,短时间内形成泥石流。所经之处,深切沟中堆积物,使沟谷两侧坡脚临空,又造成新的滑塌,阻断沟渠,继而发生更大规模的泥石流,故在本区常有滑坡—泥石流,崩塌—泥石流的链生性。

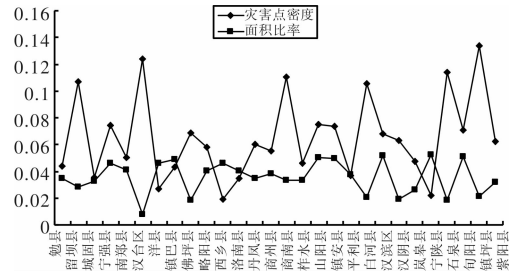
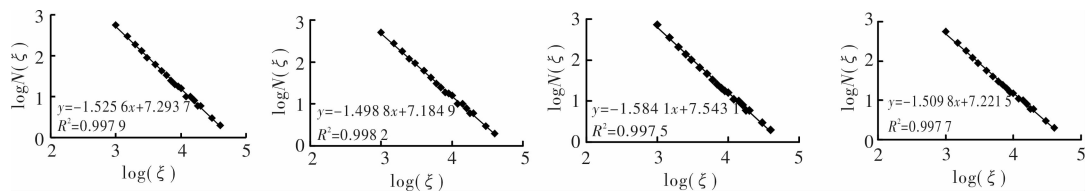
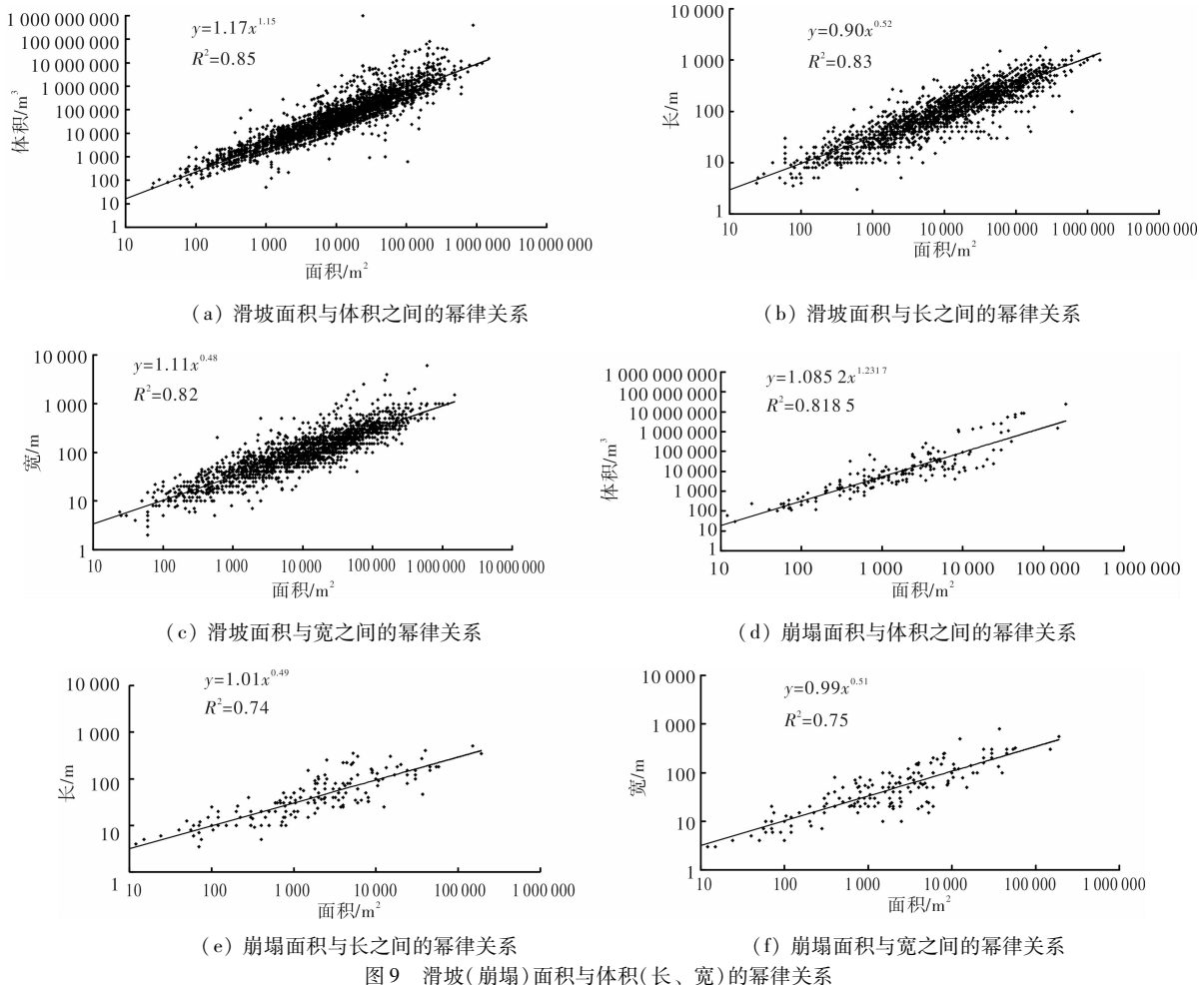


图7 各县面积比率与灾点密度

## 2.3 地质灾害的空间分布形态

### (1) 地质灾害的分形分布

本文采用盒维数法对陕南地质灾害空间分布进行分形特征研究。盒维数法是将陕南地区分成若干边长为 $\xi$ 的正方形格子,数出地质灾害或断裂、河流、道路落入的格子数 $N(\xi)$ ,改变 $\xi$ 的大小,数出对应的 $N(\xi)$ ,获得若干组数据,在双对数坐标中拟

(a) 灾点  $\log N(\xi) \sim \log(\xi)$  (b) 断裂  $\log N(\xi) \sim \log(\xi)$  (c) 河流  $\log N(\xi) \sim \log(\xi)$  (d) 道路  $\log N(\xi) \sim \log(\xi)$ 图8 地质灾害、断裂、河流与道路的  $\log N(\xi) \sim \log(\xi)$  双对数关系曲线

(a) 滑坡面积与体积之间的幂律关系

(b) 滑坡面积与长之间的幂律关系

(c) 滑坡面积与宽之间的幂律关系

(d) 崩塌面积与体积之间的幂律关系

(e) 崩塌面积与长之间的幂律关系

(f) 崩塌面积与宽之间的幂律关系

图9 滑坡(崩塌)面积与体积(长、宽)的幂律关系

合成一条直线<sup>[8]</sup>, 公式如下:

$$\ln N(\xi) = a + b \ln \xi. \quad (1)$$

式中:  $N(\xi)$  为有地质灾害(断裂、河流、道路)进入的格子数;  $\xi$  为正方形格子边长;  $a$  为常数;  $b$  为分维值。陕南地区灾点 ( $R^2 = 0.997\ 9, b = 1.525\ 6$ )、断裂 ( $R^2 = 0.998\ 2, b = 1.499\ 8$ )、河流 ( $R^2 = 0.997\ 5, b = 1.584\ 1$ )、道路 ( $R^2 = 0.997\ 7, b = 1.509\ 8$ ) 的分形见图 8。由图 8 可见, 直线拟合程度很高, 说明地质灾害、断裂、河流及道路的空间分布具有明显的分形特征。

## (2) 地质灾害规模参数的幂律相依性

陕南秦巴山区滑坡与崩塌数量占地质灾害总数的 86.43%, 具有统计意义, 因此分别建立了滑坡(崩塌)的面积与体积、长、宽的关系(图 9), 得出滑坡(崩塌)规模参数之间具有很好的幂律相依性。采用幂律关系式(式 2)对滑坡(崩塌)规模参数之间的幂律关系进行拟合, 得出经验关系式,

如表 1 所示。

表 1 滑坡(崩塌)规模参数之间的幂律关系式

序号	规模参数	幂律方程式	面积范围/m <sup>2</sup>	$N$
1	滑坡面积与体积	$V = 1.17A^{1.15}$		3 610
2	滑坡面积与长	$L = 0.90A^{0.52}$	$6 < A < 1.5 \times 10^6$	3 610
3	滑坡面积与宽	$W = 1.11A^{0.48}$		3 610
4	崩塌面积与体积	$V = 1.09A^{1.23}$		225
5	崩塌面积与长	$L = 1.01A^{0.49}$	$4.5 < A < 1.9 \times 10^5$	225
6	崩塌面积与宽	$W = 0.99A^{0.51}$		225

注:  $A$ 、 $V$ 、 $L$ 、 $W$  分别为滑坡(崩塌)的面积、体积、长度和宽度;  $N$  为统计滑坡(崩塌)的灾害数量。

拟合幂律关系式如下:

$$Y = a \times X^b. \quad (2)$$

式中:  $Y$  为面积、长、宽;  $X$  为体积、面积;  $a$ 、 $b$  为经验常数。

在野外调查时可利用滑坡(崩塌)规模参数之间的幂律关系式对滑坡、崩塌规模参数进行估算,

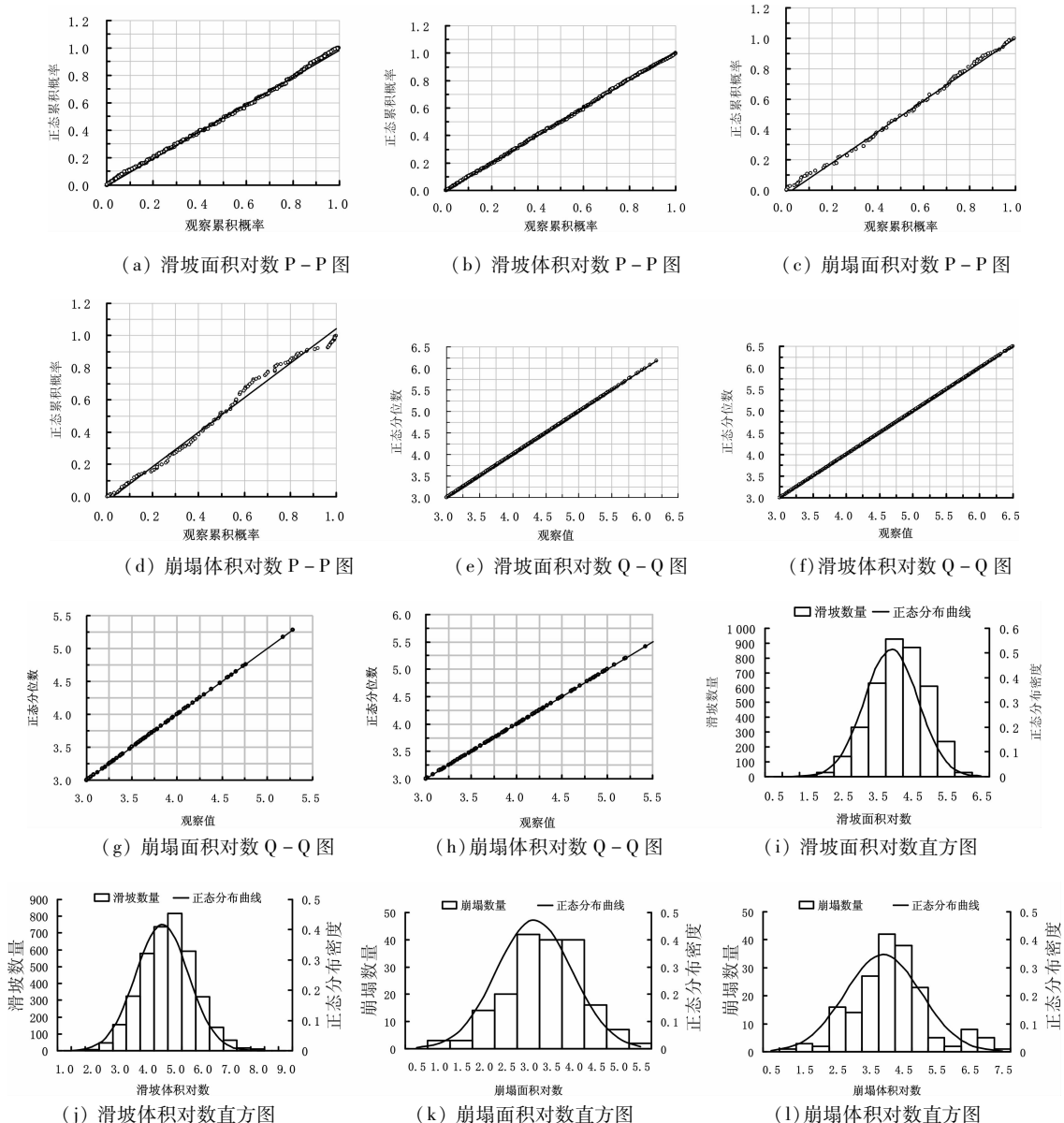


图 10 滑坡(崩塌)面积(体积)对数 P-P 图(Q-Q 图、直方图)

减少了该区地质灾害信息收集的工作量和难度,提高了调查的效率,并可对搜集的滑坡(崩塌)规模异常参数进行检验。

### (3) 地质灾害规模的正态分布

对陕南秦巴山区滑坡(崩塌)的面积与体积取对数后做  $P-P$  图、 $Q-Q$  图、直方图进行正态分布检验(图 10)。由图 10 可见,滑坡(崩塌)面积(体积) $P-P$ (图 10a~图 10d)和  $Q-Q$  图(图 10e~图 10h)均呈直线,因此滑坡(崩塌)面积(体积)满足对数正态分布;对对数直方图进行正态分布函数拟合(图 10i~图 10l)亦可验证滑坡(崩塌)面积和体积满足对数正态分布。

## 3 结 论

本文通过概率统计分析揭示了陕南秦巴山区地质灾害发育及空间分布规律,结论如下所示。

(1) 陕南秦巴山区地质灾害类型以滑坡为主,其次为崩塌。滑坡以小型、浅层和等长式堆积层滑坡为主;崩塌以小型、等长式岩质崩塌为主。

(2) 陕南秦巴山区地质灾害空间点密度自西向东呈“四高两低”区域分布;崩塌空间点密度自西向东呈“三高四低”分布;泥石流整体分布较星散,自西向东呈近似“三高两低”区域分布。

(3) 陕南秦巴山区地质灾害空间分布具有地域

性、分散性、聚集性和链生性等特征。

(4) 陕南秦巴山区地质灾害、断裂、河流与道路的空间分布具有分形特征。

(5) 陕南秦巴山区滑坡崩塌规模参数面积与体积、长、宽之间具有幂律相依性。通过对滑坡崩塌面积、体积取对数进行  $P-P$  图、 $Q-Q$  图、直方图正态分布检验,得出陕南秦巴山区滑坡(崩塌)面积(体积)呈对数正态分布。

## 参考文献:

- [1] 韩金良, 吴树仁, 李东林, 等. 秦巴山区地质灾害的分布规律与成因[J]. 地质科技情报, 2007, 26(1): 101-108.
- [2] 熊伟, 范文. 秦巴山区浅表层滑坡成灾规律研究[J]. 灾害学, 2014, 29(1): 228-233.
- [3] 陈勇, 谭燕, 茆长宝. 山地自然灾害、风险管理与避灾扶贫移民搬迁[J]. 灾害学, 2013, 28(2): 136-142.
- [4] 范立民, 何进军, 李存购. 秦巴山区滑坡发育规律研究[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2014, 15(1): 44-48.
- [5] 卢全中, 郭相利, 赵法锁, 等. 略阳县地质灾害发育特征及其危险性初步评价[J]. 长安大学学报: 地球科学版, 2003, 25(1): 52-56.
- [6] 范红科, 胡西顺, 张蓉, 等. 陕西商南县的地质灾害及其成因[J]. 灾害学, 2003, 18(1): 53-57.
- [7] 邱海军. 区域滑坡崩塌地质灾害特征分析及其易发性和危险性评价研究—以宁强县为例[D]. 西安: 西北大学, 2012.
- [8] 陈颢, 陈凌. 分形几何学[M]. 北京: 地震出版社, 2005: 42.

## Development and Spatial Distribution of Geological Disasters in Qinling-Daba Mountains of South Shaanxi

Qiang Fei<sup>1</sup>, Zhao Fasuo<sup>1</sup> and Duan Zhao<sup>2</sup>

(1. College of Geology Engineering and Geomatic, Chang'an University, Xi'an 710054, China;

2. Xi'an University of Science and Technology, Xi'an 710054, China)

**Abstract:** To further study the development and spatial distribution regularities of geological hazards in Qinling-Daba Mountains of south Shaanxi, probability statistics analysis on quantity, scale, material composition, etc of the geological disasters in the region is done. Results show that the major types of the hazards are accumulated layer landslides while rock collapses secondary. Landslides are mainly small shallow and isometric ones while collapses small and isometric ones. Spatial dot densities of the geological hazards have “four high two low” distribution, while collapses “three high four low” and debris flows “three high two low”. The special distribution of hazards, faults, rivers and roads have fractal characteristics. There are power-law correlations between areas and volumes (lengths, widths) of the landslides (collapses), and the areas and volumes are of logarithmic normal distributions. The results provide technical support for the selection of relocation sites for immigrants in this region.

**Key words:** south Shaanxi; Qinling-Daba Mountains; geological disaster; development; spatial distribution