

# 山系的分维及山系与断层系关系\*

## ——以中国为例

朱晓华 王建

(南京师范大学地理学系 南京 210097)

**提 要** 以中国山系为例运用分形理论对山系分布是否具有分形性质进行了统计分形分析,并探讨了山系分维的地质意义.在此基础上,根据分维的相关性,进行了山系、断层系关系的研究,从一个新的角度进行了断层系形成机制的探讨.

**关键词** 山系 分形 分维 断层系 相互关系

分形理论由美国科学家曼得尔布罗特(B. B. Mandelbrot)于本世纪七十年代中期创立,与耗散结构论、混沌论一样,都是近十多年来发展起来的一门新学科,现已在包括地学在内的众多领域取得了极为广泛的应用.对于地貌学领域而言,运用分形理论对地表形态及其发生、发展和分布规律的研究,都已经取得了丰硕的成果<sup>[1]</sup>,这些应用已使得分形地貌学(fractal geomorphology)初见轮廓,但大量研究往往多集中于流水地貌及分形地形的模拟<sup>[2~5]</sup>,而对山系的分维以及山系、断层系之间能否通过相关参数对其相互关系进行探讨等基本问题却少有涉及.这里,根据中国山系、断层系资料,对上述问题进行了初步研究.

## 1 资料来源和研究方法

### 1.1 资料来源

研究中使用的山系资料取自《陆地卫星影像·中国地学分析图集》<sup>[6]</sup>,图1为中国山系分布示意图.在研究过程中,为进行对比研究发现问题,作者选取了A、B两个研究区域,A研究区指整个中国陆地范围,B研究区指包括青藏高原及横断山脉在内的中国西南部区域.研究中使用的相关断层系资料取自《断层系、地震及其关系的分形研究——以中国为例》一文<sup>[7]</sup>.

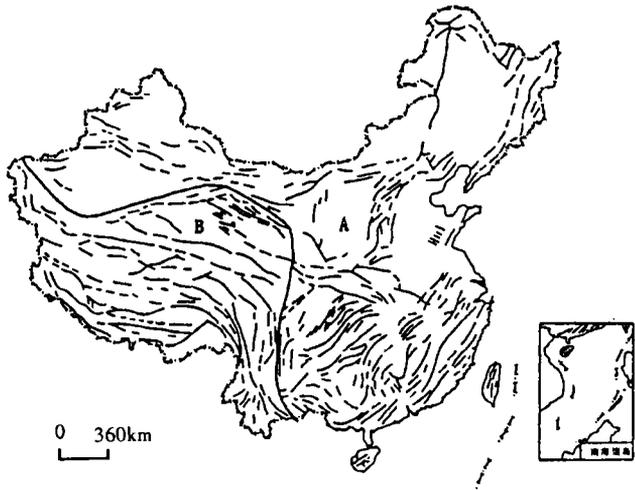


图1 中国山系分布示意图

Fig. 1 Map showing of the distribution of mountain ridges in China

\*江苏省地理信息科学重点实验室成果,得到南京师范大学“青蓝工程”基金资助(项目编号:21102).

收稿日期:1997-11-27,改回日期:1998-01-11.

### 1.2 研究方法

分形理论主要用于研究复杂系统的自相似性,根据分形基本概念,如果具有大于  $r$  的特征线性尺度的客体数目  $N(r)$  满足关系式

$$N(r) = c/r^D \tag{1}$$

则定义了一个分形分布. 式中  $C$  为待定常数,  $D$  为客体的分维数. 如果一客体具有分形性质,则在一定标度域内分维数为一常数. 现对该式两边同时取以 10 为底的常用对数,则

$$\lg[N(r)] = -D\lg(r) + \lg(c) \tag{2}$$

根据式(2),  $\lg[N(r)]-\lg(r)$  散点在一定标度域内在一条直线上,则可以通过求取直线的斜率得到分维数的值. 作者将  $r$  定义为山系的特征线性长度,取值在 50~500km 之间,将满足具有大于  $r$  的特征线性长度的 A、B 研究区山系数目分别定义为  $N_A$  和  $N_B$ ,根据统计资料,通过分别建立 A、B 研究区  $\lg(N_A)-\lg(r)$ 、 $\lg(N_B)-\lg(r)$  散点图来分析中国山系是否具有分形性质等相关问题.

## 2 数据统计结果和图形的建立

### 2.1 数据统计结果

根据图 1,以 50~500km 之间不同的  $r$  值为特征线性长度,统计具有大于不同  $r$  值的 A、B 研究区各个山系数目,结果见表 1.

表 1 A、B 研究区山系数目

Table 1 The number of mountain ridges in study areas A and B

km	>50	>100	>150	>200	>250	>300	>350	>400	>450	>500
$N_A$	381	251	143	95	67	45	37	25	17	13
$N_B$	132	91	56	38	29	20	18	15	11	8

### 2.2 图形的建立

由表 1,建立 A、B 两研究区  $\lg(N_A)-\lg(r)$ 、 $\lg(N_B)-\lg(r)$  关系图(图 2、3). 在建立图形的过程中,考虑到卫星像片对  $<50\text{km}$  的山系判读精度不够的影响,以及大于一定特征长度后,山系统计数目不足的影响,只选取了  $>100\text{km} \sim >400\text{km}$  的范围来研究 A 研究区内的  $N_A$  与  $r$  之间的关系;选取了  $>100\text{km} \sim >300\text{km}$  的范围研究 B 研究区内的  $N_B$  与  $r$  之间的关系.

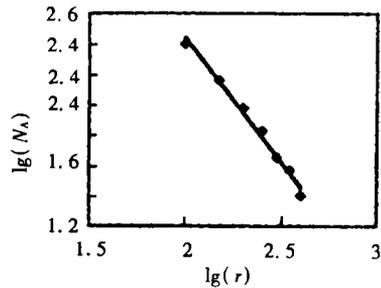


图 2 A 研究区  $\lg(N_A)-\lg(r)$  关系图

Fig. 2 The correlation between  $\lg(N_A)$  and  $\lg(r)$  in study area A

## 3 讨 论

1. 由图 2,对 A 研究区而言,在选取的研究区段内,通过线性回归,得出  $\lg(N_A)-\lg(r)$  散点在该区段内存在着较好的线性关系. 将卫星像片判读误差及作者操作过程中不可避免的误差加以考虑,则可以认为二者之间存在着线性关系,即 A 研究区内大于一定特征线性长度的山系数目  $N_A$  与特征线性长度  $r$  之间符合  $N(r)=c/r^D$ ,山系具有着分形性质,在研究区段内分维值为常数. 由图 3,对 B 研究区而

言,在选取的研究区段内,lg(N<sub>B</sub>)与lg(r)散点在该区段内亦存在着较好的线性关系,出于同样的误差考虑,则亦可认为二者之间线性关系的存在,即B研究区内大于一定特征线性长度的山系数目N<sub>B</sub>与特征线性长度r之间亦符合·N(r)=c/r<sup>D</sup>,山系具有分形性质,其分维值在研究区段内为常数.当然,自然界几乎不存在真正完全数学意义上的分形体,这种通过直线拟和而得出的分形性质,可以确切地称之为统计意义上的自相似性.通过A、B两个研究区不同山系资料的研究,共同说明了一个结果,即山系在一定标度域内具有分形性质.山系分形性质的存在,就说明了形成山系这一高度复杂的地貌现象并不一定需要复杂的原理<sup>[8]</sup>,通过局部和整体之间的内部自相似性,由简单的机理出发,经过多次迭代,就可产生极为复杂的地貌形体.山系分形性质的存在,为山系的成因研究找到了新的切入点.

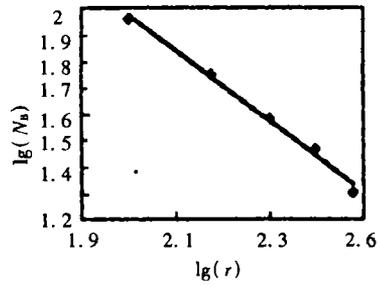


图3 B研究区lg(N<sub>B</sub>)-lg(r)关系图

Fig. 3 The correlation between lg(N<sub>B</sub>) and lg(r) in study area B

2. 由图2、3,通过线性回归分析,得出A、B研究区在各自研究区段内山系分形分布的分维值,对A研究区而言,D<sub>A</sub>=1.63,对B研究区而言,D<sub>B</sub>=1.35,二者的相关系数均在0.95~1.00之间.无疑,山系的分维就可以从一个新的角度来表征中国山系的分布特征.同时,通过比较发现,D<sub>A</sub>>D<sub>B</sub>,分析认为,这种分维值大小的差异反映了在一定比例条件下,B研究区内长、大山系出现或分布的频度大.以150km为特征长度,分别计算A、B研究区>150km和<150km的山系数目之比值,A研究区该值为0.52,B研究区该值为0.61.可见某区域内山系分维值越小,则其区域范围内长、大山系出现或分布的频度就越大.基于山系分维的大小及意义差别,既可以用作山系区域性的划分指标,又可计算出中国各大区域的该值,并进一步研究其变化规律以及地质构造原因.山系的分维无疑是用来量度其空间分布特征及进行相互关系深入研究新的有用参数.

3. 对于A、B两研究区山系分维值的差异,即D<sub>A</sub>>D<sub>B</sub>,除反映了山系在不同区域间分布频度的差异外,更加深入地表征了在不同区域之间构造运动的强弱之分.对B研究区而言,它位于中国大陆的西南隅,是上新世末至第四纪以来的强烈上升区,其构造运动的强度大大强于作为一个研究区域的整个中国陆地范围,这也有力地反证了已有的研究成果<sup>[9]</sup>.

4. 在文献[7]的基础上,计算出与B研究区相对应的断层系分维值D<sub>B</sub>为1.20.通过比较A、B两研究区山系分维值和断层系分维值,不难发现,对A研究区而言,D<sub>A</sub>(1.63)略小于D<sub>A</sub>(1.70);对B研究区而言,D<sub>B</sub>(1.35)>D<sub>B</sub>(1.20).对于山系、断层系分维值在A、B研究区的变化,恰恰反映了山系和断层系之间在成因上的联系.对B研究区而言,由其位于中国大陆的西南隅,上新世末至第四纪以来构造运动极为强烈,这不仅导致了众多大型山系的形成,而且也导致了众多长、大断层的形成,即在构造运动导致形成各大山系的同时,地表的或快或慢的隆升,导致了断层的形成,当然,在B研究区也不排除少量断层是由其它成因所形成,而D<sub>B</sub>>D<sub>B</sub>就反映了其它成因所形成的断层数目相对较少,构造运动

对断层系形成的控制程度高。对 A 研究区而言,作为一个研究整体,其范围内构造运动的强度大大低于位于中国西南隅的 B 研究区, $D_A$  与  $D_B$  接近,后者稍微偏大,这不仅反映了二者均受构造运动的控制,而且还反映了就整个中国陆地区域而言,某些小断层可能是在山系形成以后形成的,它们并未能改变山系长度大小的特征;或者是一些断层形成于平原区,与山系之间并不存在直接的成因上的联系。由 B 研究区到 A 研究区的过程,既是由典型研究区到一般研究区的过程,这一过程中山系、断层系分维固然共同说明了二者存在着成因上的联系,二者均受构造运动的控制,但也是二者之间成因联系逐渐有所偏离的过程。

概而言之,通过山系、断层系分维的关联,为二者关系的研究找到了一个新的定量量度,一种可以进行相关比较研究的指标。

## 4 结 论

1. 山系在一定标度域内具有分形性质。就整个中国陆地区域而言,山系分维值为 1.63;就包括青藏高原及横断山脉在内的中国西南部区域而言,其分维值为 1.35。

2. 山系分维是表征山系特征的一个新的参数。山系分维值大小的差异,表征了长、大山系在某个区域内出现或分布的频度差异。分维值越大,长、大山系出现或分布的频度越小;分维值越小,长、大山系出现或分布的频度则越大。就中国而言,包括青藏高原及横断山脉在内的西南部区域山系分维值较小,但其区域内长、大山系出现或分布的频度大于整个中国陆地区域的平均水平。

3. 山系分维值在不同区域间的差异,除表征其分布频度的差异外,还表征了构造运动在不同区域间的强弱程度之分。就包括青藏高原及横断山脉在内的中国西南部区域而言,虽然该区域山系的分维值较小,但反映了所在区域所受到的构造运动的强度大于作为一个研究整体的中国陆地区域。

4. 将山系分维与断层系分维相联系,既是研究这二种分形地貌现象的关联点,是探讨二者关系的新量度,也是探讨断层系形成机制的新思路。通过 A、B 研究区的对比研究,说明主导山系形成的作用机制(构造运动)也是主导断层系形成的作用机制。由 B 研究区到 A 研究区的过程,既说明了上述结论,也说明二者之间成因上的联系逐渐发生了偏离。就整个中国陆地区域而言,断层系也受构造运动的控制,主要是构造运动的产物,但同时某些断层可能是在山系形成以后形成的,或是某些断层形成于平原区,与山系之间并不存在直接的成因联系;由 B 研究区到 A 研究区的过程,也是这种趋势逐渐变强的过程。

总之,分形理论为研究山系、断层系这类自然界高度复杂的地貌现象提供了新的理论工具,随着进一步研究的开展,必将会取得更有意义的成果。

后记 该文从山系数目和特征线性长度着手,揭示了山系分布的分形性质,这对山系特征研究虽是一个新的着眼点,但仅限于对一些基本问题的探讨。我国著名学者李后强、艾南山曾给出了地貌分维的谱分析法和高差统计法(自然杂志,1992,15(17):516~519),但要深入进行山系分形特征的内在成因机制的研究,还期待研究者的努力。

## 参 考 文 献

- [1] 张捷,包浩生. 分形理论及其在地貌学中的应用——分形地貌学研究综述及展望. 地理研究,1994,13(3):104~109.
- [2] 洪时中,洪时明. 地学领域中的分维研究:水系、地震及其它. 大自然探索,1988,7(24):33~37.
- [3] 何隆华,赵宏. 水系的分形维数及其含义. 地理科学,1996,16(2):124~127.
- [4] 金德生,陈浩,郭庆伍. 河道纵剖面分形——非线性形态特征. 地理学报,1997,52(2):154~160.
- [5] 李后强,艾南山. 分形地貌学及地貌发育的分形模型. 自然杂志,1992,15(7):516~519.
- [6] 陈述彭主编. 陆地卫星影像·中国地学分析图集. 北京:科学出版社,1984. 188~189.
- [7] 王建,朱晓华,徐永辉. 断层系、地震及其关系的分形研究——以中国为例. 地震学报,1998,20(2):1~5.
- [8] Chase CG. Fluvial landscaping and the fractal dimension of topography. *Geomorphology*,1992,5(1/2):39~57.
- [9] 邓起东,徐锡伟,于贵华. 中国活动断裂研究. 北京:地震出版社,1994. 1~12.

**第一作者简介** 朱晓华,男,26岁,1996年陕西师范大学地理系毕业,现为南京师范大学地理系自然地理学专业硕士研究生. 从事第四纪地质、海洋灾害及分形地学研究,已发表相关论文数篇.

## FRACTAL ANALYSIS APPLIED TO MOUNTAIN RIDGES AND FAULTS ——A CASE STUDY OF CHINA

Zhu Xiaohua Wang Jian

(Department of Geography, Nanjing Normal University Nanjing 210097)

### Abstract

Based on the fractal and statistical analyses of mountain ridges in southwest China and the whole continental area of China, the characteristics of mountain ridges are discussed. It is found that the fractal relationship exists for mountain ridges, and the fractal dimension is 1.63 for the continental area of China, and 1.35 for the southwest China. The difference of fractal dimensions of mountain ridges between the study areas A and B indicates the frequency of long mountain ridges is larger in southwest China than the average level of the whole continental area of China, because the fractal dimension of mountain ridges is less in southwest China than that in the whole continental area of China. Further more, the correlation between mountain ridges and faults are also discussed, and conclusion is that both faults and mountain ridges are the results of the same tectonic movements, except some short ones. Thus, the fractal analysis is an effective method for studies of mountain ridges and faults.

**Key words** mountain ridges, fractal, fractal dimension, faults, correlation analysis