

中国大陆山系、断层系的分形 分维探讨

朱晓华

摘要：本文以中国为例运用分形理论对山系、断层系及其关系进行了相关研究，不仅判定了山系、断层系的分形性质，探讨了二者分维的地学意义，而且根据分数维的相关性，深入进行了二者关系的探讨，并从一个新的角度探讨了断层系的形成机制。

关键词：分数维；山系；断层系

分类号：P931 **文献标识码：**A

FRACTAL ANALYSIS OF MOUNTAIN RANGES AND FAULTS IN CHINA

ZHU Xiaohua

College of geographical Science, Nanjing Normal University 210097

Abstract : A fractal and statistical analysis of mountain ranges and faults has been made respectively for southwest China and the whole continental area of China. It is found that the fractal dimension is 1.63 for mountain ridges in continental area of China, and 1.35 for those in southwest China. The fractal dimension is 1.65 for mountain ranges or faults indicates the difference of the frequency of distribution of mountain ridges or faults. The higher frequency of long mountain ranges or faults in southwest China than in the whole continental area of China, leads to the smaller fractal dimension of mountain ridges or faults in southwest China than in the whole continental area of China. It is concluded that both faults and mountain ridges are results of tectonic movements.

Key words : fractal dimension; mountain ridges; faults

自Mandelbrot于本世纪70年代中期创立分形理论以来^[1]，已在包括地学在内的众多领域取得了广泛的应用。用分形理论刻画自然界中一些不规则、不稳定和具有高度复杂结构的现象，已经收到了异乎寻常的效果^[2-6]，这些虽然加深了对地貌机制的认识，但以往大量的研究多集中于对流水地貌的分形描述，而对山系、断层系的分形特征以及二者关系的综合探讨等却少有涉及。本文即是从此入手，根据中国山系、断层系资料，运用分形理论，对上述相关问题进行了初步探讨。

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《陆地卫星影象·中国地学分析图集》^[7]，断层系资料取自《中国主要活动断裂带卫星图像集》^[8]，图1为中国山系分布图，图2为中国断层系分布图。在研究过程中，考虑到中国西南部区域构造运动较整个中国陆地范围强烈，长大山系、断层系分布密集，以及卫星像片判读效果相对较好等因素，作者选取了A、B两个研究区进行对比研究，A研究区系指整个中国陆地范围，B研究区系指主要包括青藏高原及横断山脉在内的中国西南部区域，如图所示。

1.2 研究方法

对于山系、断层系研究，根据分形理论基本概念，如果具有大于 r 的特征线性形尺度的客体数目

N(r)满足关系式：

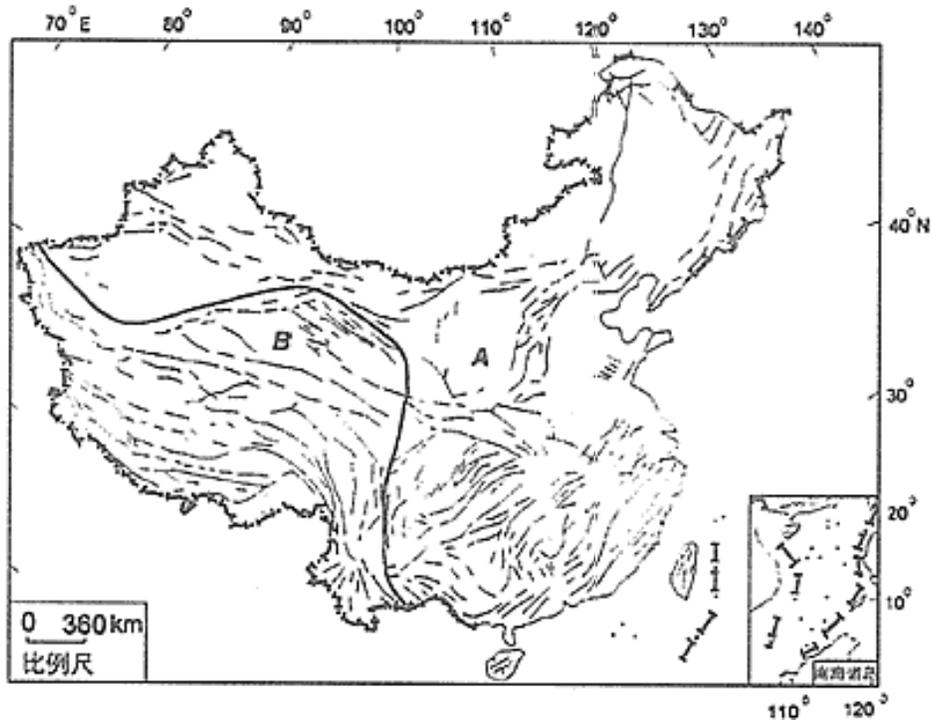


图1 中国山系分布图

Fig.2 Map showing of distribution of mountain ridges in China

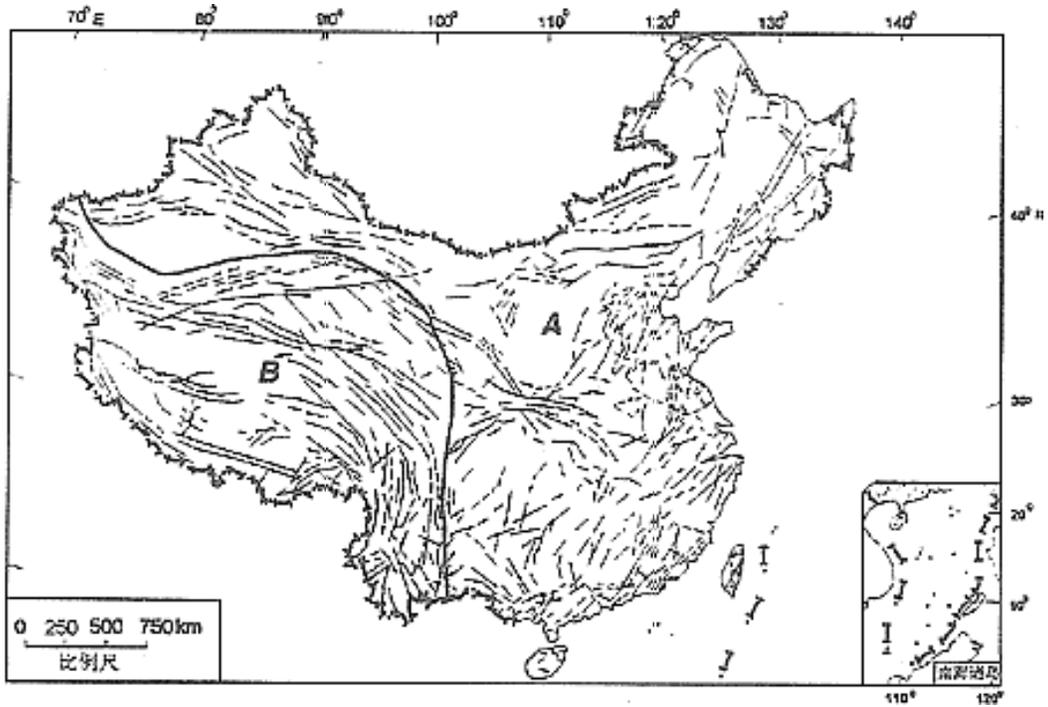


图2 中国断层系分布图

Fig.2 Map showing of distribution of faults in China

$$N(r) = \frac{C}{r^D}$$

则定义了一个分形分布。式中，C为待定常数，D称为客体的分维数。分维D值取值在1—2之间，D越大，代表图形形状越复杂；当D为1.500时，则代表图形处于一种随机运动状态。

文中，作者将r定义为山系、断层系的特征线性长度，取值在50—500km之间， N_m 、 N_n 分别定义为具有大于r的特征线性长度的A、B研究区山系数目， N_p 、 N_q 分别定义为具有大于r的特征线性长度的A、B研究区断层系数目。根据统计资料，通过分别建立A、B研究区 $\lg N_m - \lg r$ 、 $\lg N_n - \lg r$ 、 $\lg N_p - \lg r$ 、 $\lg N_q - \lg r$ 图来分析中国山系、断层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

作者根据图1统计了A、B研究区的山系数目统计结果(表1)；A、B研究区断层系数目统计结果(表2)。

表1 A、B研究区山系数目

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

l/km	>50	>100	>150	>200	>250	>300	>350	>400	>450	>500
A(N_m)	381	251	143	95	67	45	37	25	17	13
B(N_n)	132	91	56	38	29	20	18	15	11	8

l为长度

表2 A、B研究区断层系数目

Table 2 The number of faults in study areas A and B

l/km	>50	>100	>150	>200	>250	>300	>350	>400	>450	>500
A(N_p)	629	441	287	177	135	91	69	54	41	33
B(N_q)	269	155	114	77	59	44	37	31	24	20

l为长度

2.2 图形的建立

由表1，作者建立了A、B研究区山系 $\lg N_m - \lg r$ 、 $\lg N_n - \lg r$ 图(图3)；由表2，建立了A、B研究区断层系 $\lg N_p - \lg r$ 、 $\lg N_q - \lg r$ 图(图4)。在建立图3的过程中，考虑到卫星像片对<50km的山系判断精度不够的影响，以及大于一定特征线性长度后，山系统计数目不足的影响，只选取了>100km—400km的范围研究A研究区内的 N_m 与r之间的关系；选取了>100km—300km的范围研究B研究区内的 N_n 与r之间的关系。在建立图4的过程中，出于同样的考虑，只选取了>100km—500km的范围研究A研究区内的 N_p 与r之间的关系；选取了>100km—400km的范围研究B研究区内的 N_q 与r之间的关系。

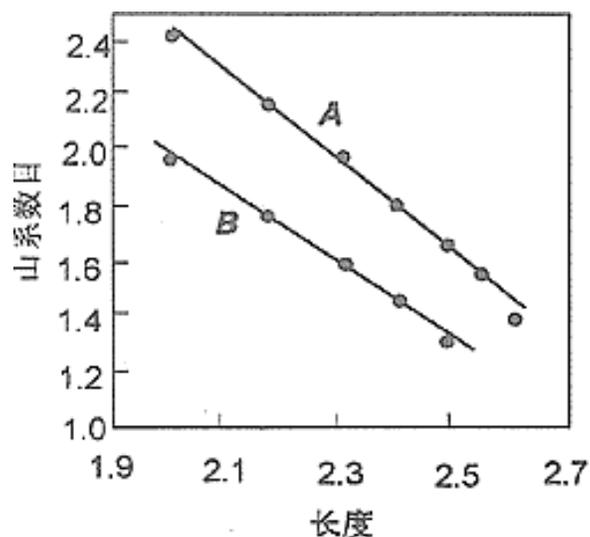


图3 山系数目与长度双对数图

Fig.3 Map showing double logarithm between the number of mountain ridges and length

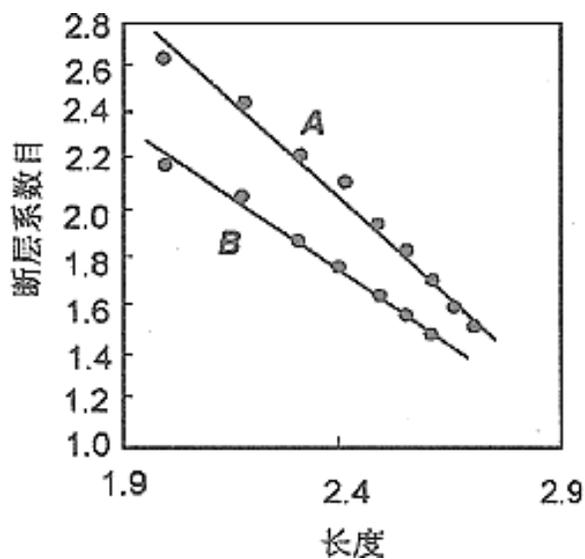


图4 断层系数目与长度双对数图

Fig.4 Map showing double logarithm between the number of faults and length

3 结论与讨论

(1)由图3,对A研究区而言,在选取的研究区段内,通过线性回归,得出 $\lg N_m - \lg r$ 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线性关系的存在,即A研究区内大于一定特征线性长度的山系数目 N_m 与特征线性长度 r 之间符合 $N(r)=C/r^D$ 式,山系具有分形性质,在研究区段内分维值为常数。对B研究区而言,在选取的研究区段内, $\lg N_n$ 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_n 与特征线性长度 r 之间亦符合 $N(r)=C/r^D$ 式,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^[9],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。

(2)由图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_A 为1.63,对B研究区而言, D_B 为1.35,二者的相关系数均在0.95—1.00之间。可见,山系的分维就可以从一个新的角度来表征山系的分布特征。同时,通过比较发现, $D_A > D_B$,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,计算A、B研究区 $>150\text{km}$ 和 $<150\text{km}$ 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。基于山系分维的地质意义,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,并进一步探讨其变化规律以及地质构造原因。山系分维无疑是用来量度其空间分布特征及进行相关深入研究的新的有用参数。

(3)由图4可知,A、B研究区断层系在选取的标度区间存在着较好的线性关系,出于卫片判读误差及数据统计过程中人为误差的考虑,则图4显示了较好的统计自相似性,即断层系的分布亦具有分形性质,这亦说明了形成断层系这一高度复杂的地貌现象并不一定需要复杂的原理^[9]。作者由此计算出A、B研究区在各自研究区段内断层系分形分布的分维值, D_A 为1.65, D_B 为1.20。同样,断层系分维值也可从一个新的角度来表征断层系的分布特征。对于A、B研究区断层系分维值的差异,通过分析,作者认为;断层系分维值较小,反映了B研究区长、大断层系出现或分布的频度大。作者以150km为特征长度,计算了A、B研究区 $>150\text{km}$ 和 $<150\text{km}$ 的断层系数目之比值,A研究区该值为0.40,B研究区该值为0.56。某区域内断层系分维值越小,则其区域范围内长、大断层出现或分布的频度就越大。基于断层系分维的地质意义,既可以用作断层系区域性的划分指标,又可计算出中国各大区域的该值,并进一步探讨其变化规律以及地质构造原因。断层系分维无疑是用来量度其空间分布特征及进行相关深入研究的新的参数。

(4)通过对比发现,就山系而言, $D_A > D_B$ (1.63>1.35);就断层系而言, $D_A > D_B$ (1.65>1.20)。对于它们在不同区域间分维值的差异,作者认为除去反映不同区域间各自分布频度的差异外,还共同表征了在不同区域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。作者认为这可能就是分维值差异的内在分形机制所在,这也有力地反证了已有的研究成果^[10]。

(5)山系和断层系在一定标度域内都具有分形性质,则分维就可成为研讨二者关系的中介参数。通过比较A、B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_A (1.63)略小于断层系分维值 D_A (1.65);对B研究区而言, D_B (1.35)大于 D_B (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,由于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 $D_B > D_B$ 就反映了其它成因所导致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_A 接近,后者稍微偏大,不仅反映了二者均受构造运动的控制(都是构造运动的产物),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。

(6)比较发现, $D_A > 1.50, D_A > 1.50, D_B < 1.50, D_B < 1.50$,四者的值均不等于1.50,由此表明断层系、地震均未达到随机运动的状态,均受到构造运动的控制。这一方面说明了断层系、地震在成因上的密切联系,另一方面

也进一步论证了前述结论。

(7)用分形理论刻画具有高度复杂结构的自然现象时,具有指定信息少、计算容易和重现精度高等特点,所以,不但具有信息压缩的优点,对那些看来十分复杂的事物,可以用含有少量参数的公式来描述,而且可以借助于计算机实现对山系、断层系等研究对象的模拟生成和可视化研究,以促使研究的直观、深入。以往学者在建立数字高程模型等方面做过一些研究^[11],而作者从另一个角度入手,探讨了山系、断层系分形模型的建立。

(8)通过本文的分析,揭示了山系、断层系的分形性质,既然这两种地貌现象都具有一定标度域内的分形性质,那么是否意味着主导这两种分形地貌形成的作用机制(即构造运动)也是无标度或跨尺度的?当然,这还有待于进一步的深入研究。

(9)作者从山系、断层系数目和特征线性长度着手,研究了二者是否具有分形性质,揭示了各自分数维的地质意义,这虽是对山系、断层系研究的一个新的着眼点,得出了一些新的结论,但同时仍主要是对一些基本问题的探讨,进一步的研究仍待深入。例如,能否建立山系的海拔高程或高差与经纬距离等相关标度之间的关系,以此来丰富山系研究的内涵,并深入进行山系分形特征的内在成因机制的研究?我国学者李后强等虽然曾给出了地貌分形的谱分析法和高差统计法^[3],但由于相关资料尚不全面,故进一步的研究尚待深入。同时,还可考虑用分形思想探讨在成因上极为密切的山系、断层系、地震这三者之间的关系^[12],以期得到新的研究成果。

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。

作者简介:朱晓华(1972—),男,现为南京师范大学地理科学学院硕士研究生,主要从事地理信息与地理信息系统研究。

作者单位:南京师范大学地理科学学院,南京 210097

参考文献

- [1] Mandelbrot B B. Fractal:Forms, Chance, and Dimension [M]. W H Freeman, New York,1977.
- [2] 洪时中,洪时明.地学领域中的分维研究——水系、地震及其它[J].大自然探索,1988,7(24):33—37.
- [3] 李后强,艾南山.分形地貌学及地貌发育的分形模型[J].自然杂志,1992,15(7):516—519.
- [4] 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[J].地理研究,1994,13(3):104—109.
- [5] 何隆华,赵宏.水系的分形维数及其含义[J].地理科学,1996,16(2):124—127.
- [6] 金德生,陈浩,郭庆伍.河道纵剖面分形——非线性形态特征[J].地理学报,1997,52(2):154—160.
- [7] 陈述彭.陆地卫星影像.中国地学分析图集[M].北京:科学出版社,1984.188—189.
- [8] 谢广林.中国主要活动断裂带卫星图像集[M].北京:科学出版社,1989.4-114.
- [9] Chase C G. Fluvial landscaping and the fractal dimension of topography [J]. Geomorphology, 1992, 5(1/2):39-57.
- [10] 邓起东,徐锡伟,于贵华.中国活动断裂研究[M].北京:地震出版社,1994.1-12.
- [11] Nina Siu-Ngan lam, De Cola lee. Fractal in Geography [M]. PTR Prentice-Hall, 1993. 30-39.
- [12] 王建,朱晓华,徐永辉.断层系、地震及其关系的分形研究[J].地震学报,1998,20(3):295—299.

收稿日期:1998-11-12