

文章编号: 0258-7106 (2012) 03-0459-06

广西贺州水岩坝矿田断裂构造分形特征分析*

廖家飞¹, 冯佐海^{1,2,*}, 罗畅权¹, 康志强^{1,2}

(1 桂林理工大学地球科学学院, 桂林 541004; 2 广西隐伏金属矿产勘查重点实验室, 桂林 541004)

摘要 文章基于盒计维数法对水岩坝矿田断裂构造进行了系统的定量分析, 结果显示矿田内不同尺度的断裂构造具有良好的自相似性。其中, 断层的分维值为 1.3475。矿田中部的烂头山矿床节理和手标本微裂隙的平均分维值分别为 1.7841 和 1.3310。在子区分维高次趋势图上, 分维高值区总体延伸趋势为北西向, 与矿田断层构造总体展布趋势相吻合。平面上, 烂头山矿床正常围岩微裂隙、蚀变围岩微裂隙和矿(化)体微裂隙的平均分维值分别为 1.2097、1.3310 和 1.8622, 表明矿化程度的高低与其微裂隙分维值的大小成正比。垂向上, 烂头山矿床露头节理平均分维值随高程的升高而增大, 显示烂头山矿床具有含钨石英脉型的“五层楼”模式特点。此外, 水岩坝矿田内已知矿床(点)均位于分维高值区, 说明分维值的高低与已知矿床(点)的分布具有耦合性。

关键词 地质学 断裂构造 分形理论 盒计维数法 水岩坝矿田 广西

中图分类号 P611.5

文献标志码 A

Fractal characteristics analysis of fractures in Shuiyanba ore field of Hezhou, Guangxi

LIAO JiaFei¹, FENG ZuoHai^{1,2}, LUO ChangQuan¹ and KANG ZhiQiang^{1,2}

(1 School of Earth Sciences, Guilin University of Technology, Guilin 541004, Guangxi, China;

2 Key Laboratory of Center of Guangxi Geological Engineering, Guilin 541004, Guangxi, China)

Abstract

A systematic quantitative analysis of fault structures in the Shuiyanba ore field were conducted on the basis of the box-counting dimension method. It is found that the faults of different scales in the Shuiyanba ore field have good self-similarity. The fractal dimension of faults is 1.3475, the average fractal dimensions of micro-cracks of joints and hand specimens in the Lantoushan deposit of central ore field are 1.7841 and 1.3310 respectively; in the figure of subinterval high fractal dimension, the fractal dimension of the overall extension of the high value area trends northwest, the overall trend of fault structures and the ore field is consistently spread. In the plane, the average fractal dimensions of normal rock micro-fissures, micro-fractures of altered wall rock and ore or mineralized bodies in the Lantoushan deposit are 1.2097, 1.3310 and 1.8622 respectively, suggesting that the level of mineralization and the size of fractal dimension crack are proportional. In the vertical direction, the average fractal dimension of outcrop joints in the Lantoushan deposit increases with increasing elevation, indicating that the Lantoushan deposit is characterized by tungsten-quartz vein type “five-storey” model. In addition, the known mineral deposits (ore spots) in the Shuiyanba ore field are located in the high value fractal di-

* 本文得到广西自然科学基金重点项目(2010GXNSFD013001)、广西大规模地质找矿项目(桂财建函[2010]130号)、广西教育厅项目(201010LX170)和桂林理工大学博士启动基金项目(编号 1002401003286)的联合资助

第一作者简介 廖家飞, 男, 1984年生, 硕士研究生, 构造地质学专业。Email: liaojiafei123@163.com

** 通讯作者 冯佐海, 男, 1960年生, 教授, 主要从事构造地质学的教学与研究。Email: fzh@glte.edu.cn

收稿日期 2011-07-16; 改回日期 2012-02-12。秦思婷编辑。

mension area, implying that the level of the fractal dimension is coupled with the known deposits (ore spots) in spatial distribution.

Key words: geology, fault structure, fractal theory, box-counting dimension method, Shuiyanba ore field, Guangxi

在区域成矿中,断裂构造是重要的控制因素,对它的研究一直受到地质工作者的高度重视。国内外对活动断裂的研究(Okubo et al., 1987; 孔凡臣等, 1991; 汤顺民等, 1995)表明,断裂构造具有自相似性,可采用分形理论对其进行定量研究。矿床的规模、空间分布、品位分布具分形和多重分形结构,不同规模的矿床具有不同的分形结构,暗示不同规模的矿床具有不同的成矿构造背景和机制(王四龙等, 1997; 张哲儒等, 2000)。分维值的大小反映了断裂构造发育的复杂程度,分维值越大,表明其越有利于成矿元素的活化及成矿流体的富集,以致形成矿床。本文首次利用分形理论对广西贺州水岩坝矿田的断裂构造分形特征进行研究,并探讨分形理论在断裂构造研究及找矿勘探中的应用。

1 矿田地质概况

水岩坝矿田位于桂东北姑婆山花岗质杂岩体西南接触带(图 1),总面积约 121 km²。出露地层主要为泥盆系砂页岩、灰岩,石炭系灰岩,上三叠统一侏罗统砂页岩;北东侧为姑婆山燕山早期新路单元粗粒斑状黑云母二长花岗岩体(Feng et al., 2011)(图 1),与泥盆系、石炭系呈侵入接触关系。中部沿烂头山至老虎坳一带有一系列北东向的玢岩脉、伟晶岩脉及花岗斑岩脉出露。矿田经历了多期次构造运动,其内构造以断层为主,褶皱次之,均呈北东向或北西向展布,且北西向分布较北东向更明显。断层主要有北西向的沙子冲断层、车底断层、笔架山断层及北东向的野鬼冲断层、枫木冲断层、湖鸭塘断层。褶皱主要有北西向的车底背斜和笔架山背斜。区内岩石节理、微裂隙较发育,而以烂头山矿床的节理和微裂隙尤为发育,局部呈密集网格状,多被方解石脉或暗色矿物充填。

钨锡多金属矿床(点)多分布于燕山期花岗岩体内及其接触带上,从岩体内向远离岩体的水平方向上,成矿分带明显,矿种表现为由岩体内的钨锡铋钼矿—接触带上的钨锡矿—远离接触带上的铅锌铜锡矿,与之相应的矿床成因类型大致为岩体型(伟晶岩型)—接触交代砂卡岩型—高、中、低温热液型(地

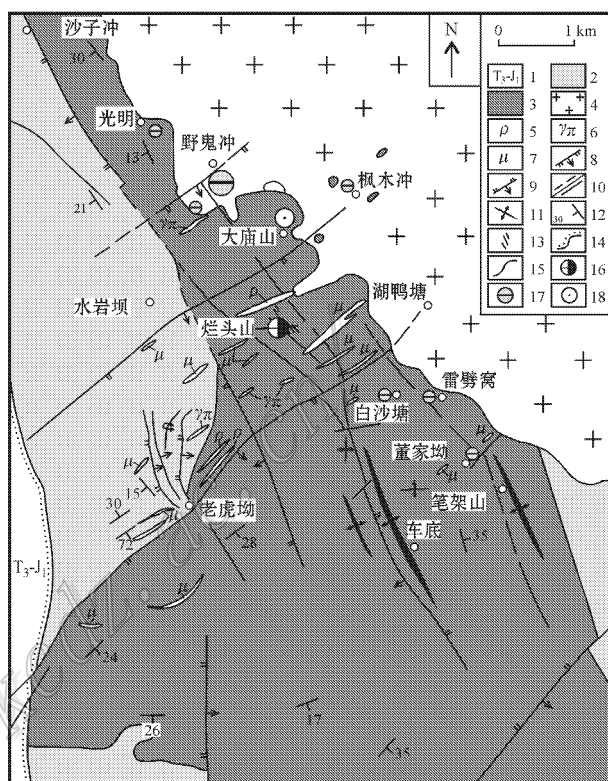


图 1 水岩坝矿田地质简图(据欧阳成甫等, 2002 有改动)
1—上三叠统一侏罗统砂页岩; 2—石炭系灰岩; 3—中、上泥盆统砂页岩、灰岩; 4—新路单元花岗岩体; 5—伟晶岩脉; 6—花岗玢岩脉; 7—玢岩脉; 8—正断层; 9—逆断层; 10—推测/性质不明断层; 11—背斜; 12—地层产状; 13—黑钨矿石英脉; 14—地质界线; 15—地层不整合接触面; 16—砂锡矿; 17—钨锡矿; 18—磁铁矿

Fig. 1 Simplified geological map of the Shuiyanba ore field (modified after Ouyang et al., 2002)

1—Upper Triassic-Lower Jurassic sandshale; 2—Carboniferous limestone; 3—Middle-Upper Devonian sandshale and limestone; 4—Xinlu granite; 5—Pegmatitic vein; 6—Granite-prophyrite vein; 7—Prophyrite vein; 8—Normal fault; 9—Reversed fault; 10—Inferred and undefined fault; 11—Anticline; 12—Attitude of rock formation; 13—Wolframite quartz vein; 14—Geological boundary; 15—Unconformity; 16—Tin ore; 17—Tungsten-tin ore; 18—Magnetite

质矿产部《南岭项目》构造专题组, 1988; 欧阳成甫等, 1993; 2002; 谢国源等, 1993; 1994; 顾晟彦等, 2007)。其中,以矿田中部的水岩坝烂头山中型脉状钨锡矿床最为典型,矿脉带自下到上由细变粗,由疏变密,为高-中温热液型矿床。此外,还有白沙塘矿点及董家坳、雷劈窝小型矿床等。

2 分形研究方法

计算断裂构造分维值的方法很多,目前最常用的有圆覆盖法、长度-频度统计法、滑动窗口法和盒计维数法(也称计盒维数或盒维数)。盒计维数法的定义是:用符号 $F(x)$ 表示度量空间 x 上的全体子集组成的集合,含 $A \in F(x), (x, \rho)$ 为一度量空间,对每一 $\delta > 0$,用 $N_\delta(A)$ 表示覆盖 A 的半径为 $\delta > 0$ 的闭盒的最少个数,如果

$$\lim_{\delta \rightarrow 0} \frac{\log N_\delta(A)}{\log \delta}$$

存在,则称这个极限值为集 A 的盒维数,记为 $\dim A$ 。对于结构较为复杂的断裂构造来说,只需知道盒子的边长和个数即可求得其分维值,该方法最为简便、客观。故此次研究采用盒计维数法,具体做法如下:

以边长为 L 的正方形初始网格对整个矿田的断裂构造进行统计,取边长 $r = L/2^n$ (其中 n 为整数)的小正方形网格分别求出相应标度下含有断裂迹线的网格数 $N(r)$ 。当 r 足够小时,则所需最少格子数 $N(r)$ 与 r 之间满足公式(李长江等,1999):

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

即 $\lg N(r) = -D \lg r + \lg k$ (1)
式中, D 为分维值,取值范围为 $0 < D < 2$; k 为比例常数。在 $\lg r - \lg N(r)$ 坐标系中作图,用最小二乘法求得最后回归直线的斜率,负值即为分维值 D ,同时可求得判定系数(或决定系数) R^2 (贾俊平,2008),若 R^2 越接近 1,说明回归越成功,拟合的程度越好,分形图形就越符合(1) 式中的标度关系,反之亦然。

3 分析结果

3.1 矿田断层分形特征

3.1.1 矿田断层分形统计

此次研究以 1:5 万地质图作为底图,结合野外实地调研,应用盒计维数法对矿田内断层构造进行分形统计(图 2),取边长 $L = 22 \text{ cm}$ (实际长度为 11 km)的正方形初始网格覆盖在底图上,将计算结果与其他地区对比可知:

(1) 在 0.171875~5.5 km 统计标度内,矿田断层构造分维值为 1.3475,决定系数 R^2 为 0.9879, $\lg N(r)$ 与 $\lg r$ 具有极好的相关性(图 3),表明矿田内的断层构造具有很好的统计自相似性。

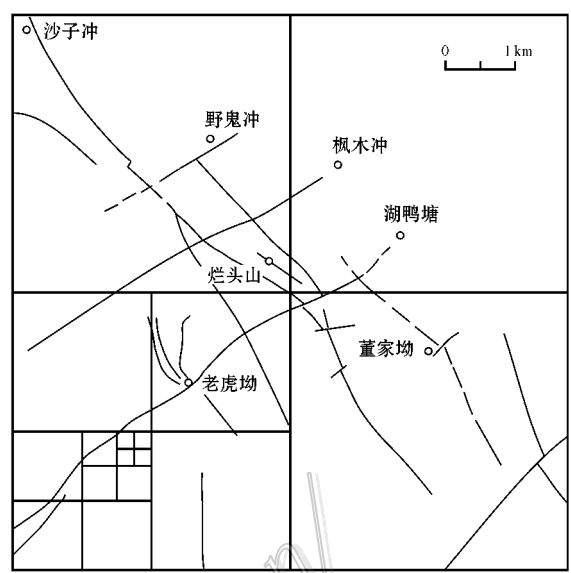


图 2 盒计维数法统计水岩坝矿田断层分维示意图
Fig. 2 Sketch map of statistics of faults in the Shuiyanba ore field with the box-counting dimension method

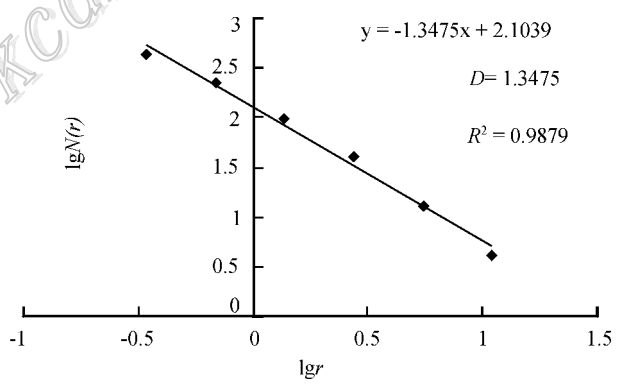


图 3 水岩坝矿田断层构造分形特征
Fig. 3 Fractal characteristics of the fault structure in the Shuiyanba ore field

(2) 使用相同的计算方法,矿田断层构造分维值大于粤北下庄矿田断层构造分维值(0.91;李社等,2007)和个旧老厂矿田断层构造分维值(1.263;毛政利等,2004),小于江西德兴斑岩铜矿田断层构造分维值(1.596;金章东等,1998),而与蚕庄-灵山沟金矿田断层构造分维值(1.3656;丁式江等,2000)、胶东焦家金矿田断层构造分维值(1.3198;丁式江等,2000)接近,表明区内断层分形结构较复杂,活动较强烈。

(3) 周尽(1991)认为,断裂系的分维与形成的

力学环境具有密切的关系,他在总结已知断裂分维与力学环境的基础上指出:剪切断裂系有较小的分维值,典型值为 1.1~1.3 张性环境形成的断裂系则具有较高的分维值,典型值为 1.5~1.6。水岩坝矿田断层构造分维值为 1.3475,因此,可以认为矿田内的断裂构造偏于剪性,这与野外观测到的断裂特征相一致。

3.1.2 矿田断层构造的分维趋势分析

取 $L=2\text{ cm}$ (实际长度为 1 km) 为一个单位长度,整个矿田离散成 121 (11×11) 个正方形子区,对各子区分别进行分形统计,将求得的分维值 D 应用 Golden Software Surfer 8.0 制图软件生成等值线图,并作分维等值线图(图 4),将其与本区的断层构造分布图(图 1)进行对比分析,可知:

矿田中的断层构造总体上呈北西向带状展布,这一特征与矿田断层分维等值线图中分维值 (>0.6) 所圈闭的高值区相对应。高值区沿着接触变质带展布,说明断层构造等值线图能较好地反映矿田内断层构造的总体分布特征,也反映出接触变质带内的岩石较为破碎、断裂构造较发育的特征。

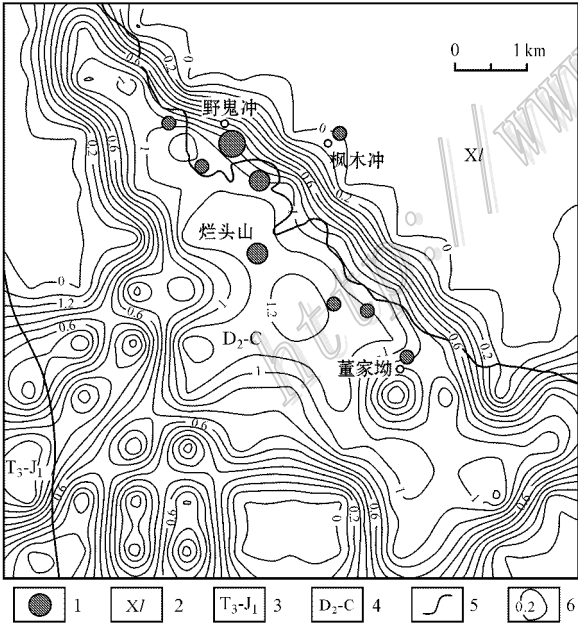


图 4 水岩坝矿田断层构造分维等值线图
1—矿床(点);2—新路单元花岗岩体;3—上三叠统一下侏罗统;4—中泥盆统一石炭系;5—地质界线;6—分维等值线
Fig. 4 Fractal contour map of the fault structure in the Shuiyanba ore field
1—Ore deposit (ore spot); 2—Xinlu granite; 3—Upper Triassic-Lower Jurassic; 4—Middle Devonian-Carboniferous; 5—Geological boundary; 6—Fractal contour

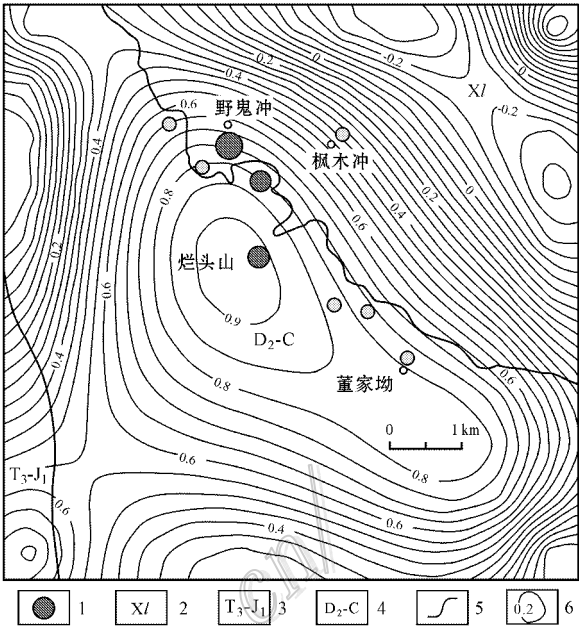


图 5 水岩坝矿田断层构造分维 6 次趋势等值线图
1—矿床(点);2—新路单元花岗岩体;3—上三叠统一下侏罗统;4—中泥盆统一石炭系;5—地质界线;6—分维等值线
Fig. 5 Sextic trend fractal contour map of the fault structure in the Shuiyanba ore field
1—Ore deposit (ore spot); 2—Xinlu granite; 3—Upper Triassic-Lower Jurassic; 4—Middle Devonian-carboniferous; 5—Geological boundary; 6—Fractal contour

笔者也对各子区分维进行了趋势分析(图 5),发现趋势分析等值线图的分维高值区总体展布趋势与矿田断层构造总体展布趋势同为北西向,说明区内北西向断层构造起主要控制作用。

3.2 矿田节理、定向标本微裂隙分形特征

笔者还对水岩坝矿田、烂头山矿床的岩石露头节理、标本微裂隙进行了分形统计。水岩坝矿田和烂头山矿床的 54 个露头点,选取边长 $L=1\text{ m}$ 的正方形范围内的节理进行分形统计;在室内将采集的定向标本统一切割水平面,选取 $L=5\text{ cm}$ 的正方形范围内的微裂隙进行分形统计。利用(1)式求得分维值 D ,应用 Golden Software Surfer 8.0 制图软件,将所得数据生成等值线图(图 6、图 7),分析可知:

(1) 在 $0.0625\sim 0.5\text{ m}$ 统计标度内,矿田露头节理平均分维值为 1.7056,决定系数 $R^2>0.9754$,表明矿田露头节理较发育,具有较好的分形特征。

(2) 在 $0.3125\sim 2.5\text{ cm}$ 统计标度内,矿田岩石标本微裂隙平均分维值为 1.2739,决定系数 $R^2>0.9721$,表明矿田岩石标本微裂隙较发育,具有较好

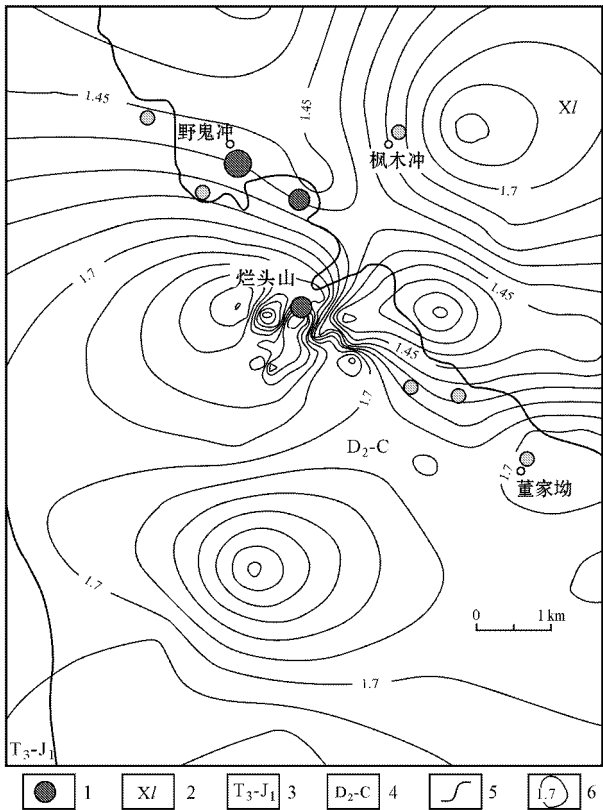


图 6 水岩坝矿田露头节理分维等值线图
1—矿床(点)；2—新路单元花岗岩体；3—上三叠统一下侏罗统；
4—中泥盆统一石炭系；5—地质界线；6—分维等值线
Fig. 6 Fractal contour map of the outcrop joints in the
Shuiyanba ore field
1—Ore deposit (ore spot)；2—Xinlu granite；3—Upper
Triassic-Lower Jurassic；4—Middle Devonian-Carboniferous；
5—Geological boundary；6—Fractal contour

的分形特征。

(3)在 0.0625~0.5 m 统计标度内,烂头山矿床露头节理的平均分维值为 1.7841,决定系数 $R^2 > 0.9754$,表明烂头山矿床露头节理较发育,具有较好的自相似性,且其平均分维值大于水岩坝矿田断层的平均分维值(1.3475),也大于水岩坝矿田露头节理平均分维值(1.7056),表明烂头山矿床构造较水岩坝矿田构造更为复杂。

(4)在分维等值线图上,矿床(点)基本上沿着分维值大的区域分布,而这一区域为接触变质带,分维值高,表明接触带上的岩石破碎程度较大,也说明了分维值越大,越有利于成矿。

3.3 烂头山矿床分形特征

3.3.1 垂向分形特征

将烂头山矿床29个不同高程的露头节理分形统计

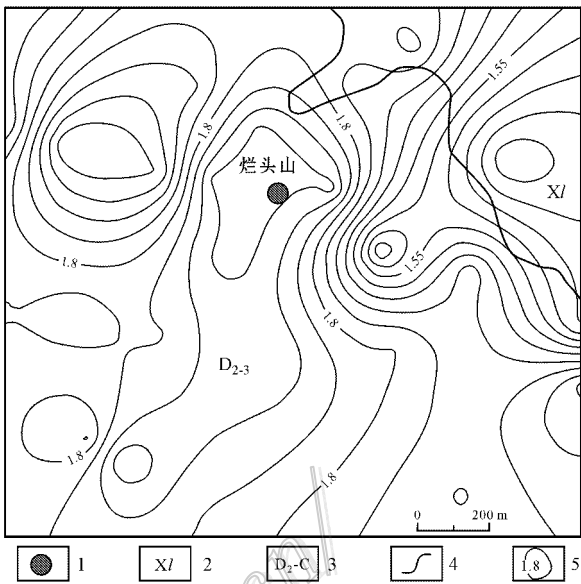


图 7 烂头山矿床露头节理分维等值线图
1—矿床(点)；2—新路单元花岗岩体；3—中、上泥盆统；
4—地质界线；5—分维等值线
Fig. 7 Fractal contour map of the outcrop joints in
the Lantoushan deposit
1—Ore deposit (ore spot)；2—Xinlu granite；3—Middle
-Upper Devonian；4—Geological boundary；5—Fractal contour

点,按每 50 m 高程分别统计其平均分维值,结果表明,烂头山矿床岩石节理分维值总体趋势随着高程的增大而逐渐上升。从露头节理平均分维值的变化可以看出,当高程从 130 m 逐渐增加到 370 m 时,露头节理平均分维值从 1.7419 增大到 1.9566(图 8),表明烂头山矿床岩石露头节理随着高度的增加,结

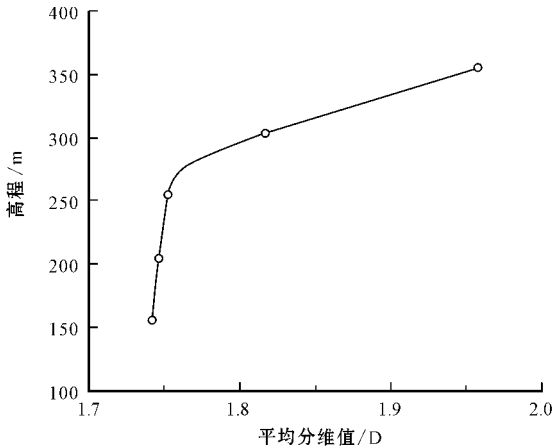


图 8 烂头山矿床露头节理平均分维值与高程变化关系图
Fig. 8 Average fractal dimension of outcrop joints in
the Lantoushan deposit in relation to the change of the height

构、构造复杂程度逐渐增大,即从较宽的节理或粗矿脉逐渐变成复杂树枝状或网格状的细密石英脉或矿脉,即矿脉宽度越来越小。在垂向上的变化显示出烂头山矿床矿脉的几何形态与一般的含钨石英脉的“五层楼”模式相一致,即从深处向上,脉状矿脉具尖脉—大脉—薄脉—细脉—线脉变化的特征。

3.3.2 平面分形特征

在烂头山矿床采集了 5 块矿(化)体定向标本、29 块蚀变围岩定向标本和 25 块围岩定向标本,对标本切割水平面边长 $L = 5 \text{ cm}$ 正方形范围内的微裂隙(包括矿脉)进行分形统计,结果表明,在 $0.3125 \sim 2.5 \text{ cm}$ 的统计标度内,烂头山矿床中矿(化)体的微裂隙平均分维值为 1.8622,决定系数 $R^2 > 0.9986$; 烂头山矿床蚀变围岩标本微裂隙的平均分维值为 1.3310,决定系数 $R^2 > 0.9764$; 正常围岩标本微裂隙的平均分维值为 1.2097,决定系数 $R^2 > 0.9721$ 。以上的数据说明它们都具有较好的分形特征,且从矿(化)体—蚀变围岩—正常围岩,分维值逐渐减小,微裂隙的复杂程度也逐渐降低。

4 结 论

(1) 水岩坝矿田内的断层、节理和微裂隙均具有良好的自相似性,即从宏观上或微观上均可用分形理论进行研究,矿田内的断裂构造较复杂,活动较强烈,且以剪性为主。

(2) 水岩坝矿田内断裂构造分维等值线图和趋势分析图总体上均呈北西向展布,与接触变质带展布方向基本一致,表明接触变质带内的断裂构造较为复杂,而分维等值线图高值区的宽窄不同,表明矿田内的岩石受力不均一,破碎程度变化较大。

(3) 烂头山矿床露头节理的平均分维值(1.7841)既大于水岩坝矿田断层的平均分维值(1.3475),也大于水岩坝矿田露头节理平均分维值(1.7056),表明烂头山矿床构造较水岩坝矿田构造更为复杂,且该矿床的节理以张性为主。

(4) 矿田内已知矿床(点)均处于分维高值区,暗示岩石的破碎程度越高,矿化程度越大,越有利于成矿,说明分维值的高低与已知矿床(点)的分布具有一定的耦合性,这对今后的找矿勘探有一定的意义。

(5) 烂头山矿床处于分维高值区,且在垂向上露头节理分维值随高程的增加也增大,即其发育越

来越复杂,说明该矿床具有含钨石英脉型的“五层楼”模式。

(6) 烂头山矿床矿(化)体微裂隙、蚀变围岩微裂隙、正常围岩微裂隙平均分维值分别为 1.8622、1.3310 和 1.2097,表明从矿(化)体—蚀变围岩—正常围岩,分维值逐渐变小,微裂隙的复杂程度逐渐降低,即不同矿化体矿化程度的高低与其微裂隙分维值的大小成正比。

参考文献/References

- 地质矿产部《南岭项目》构造专题组. 1988. 南岭区域构造特征及控岩控矿构造研究[M]. 北京:地质出版社. 1-266.
- 丁式江,翟裕生. 2000. 胶东焦家金矿田构造形迹的分形研究[J]. 中国地质大学学报,25(4):416-420.
- 顾晟彦,华仁民,戚华文. 2007. 广西新路-水岩坝钨锡矿田的成因探讨[J]. 矿床地质,26(3):266-276.
- 贾俊平. 2008. 统计学(第三版)[M]. 北京:中国人民大学出版社. 171-173.
- 金章东,卢新卫,张传林. 1998. 江西德兴斑岩铜矿田断裂分形研究[J]. 地质论评,44(1):57-61.
- 孔凡臣,丁国瑜. 1991. 线性构造分数维值的含义[J]. 地震,5:33-37.
- 李长江,麻士华,朱兴盛. 1999. 矿产勘查中的分形、混沌与 ANN[M]. 北京:地质出版社. 140.
- 李 社,管太阳,曹双林,潘家永. 2007. 基于 RS 与分形的下庄矿田线性构造空间特征分析[J]. 遥感学报,11(4):494-499.
- 毛政利,彭省临,赖健清,王 力. 2004. 个旧矿区东区断裂构造分形研究及成矿预测[J]. 地质找矿丛论,19(1):17-19.
- 欧阳成甫,陈大克,钱建平. 1993. 广西新路和水岩坝钨锡矿田的控矿构造[J]. 桂林冶金地质学院学报,13(4):350-356.
- 欧阳成甫,陈大克,钱建平,韦炜烈,林 刚. 2002. 广西平桂地区构造地质特征及含矿岩系研究[M]. 南宁:广西科学技术出版社. 61-101.
- 王四龙,刘 玉,杨小勤,宁书年,刘 波,许孝庭. 1997. 构造线空间分布模式的定量分析与地质意义[J]. 煤田地质与勘探,25(1):12-14.
- 谢国源,胡火炎. 1993. 广西水岩坝矿田成矿构造演化及脉型矿床的构造控矿机制研究[J]. 大地构造与成矿学,18(1):76-83.
- 谢国源,胡火炎. 1994. 广西水岩坝-新路钨锡矿田构造控矿类型及找矿前景[J]. 有色金属矿产与勘查,3(5):266-271.
- 易顺民,唐辉明. 1995. 活动断裂的分形结构特征[J]. 地球科学,20(1):58-62.
- 张哲儒,毛海海. 2000. 分形理论与成矿作用[J]. 地学前缘,7(1):195-203.
- 周 尽. 1991. 海原断层系分形研究[J]. 西北地震学报,13(3):162-166.
- Feng Z H, Wang C Z, Liang J C, Li J Z, Huang Y G, Liao J F and Wang R. 2011. The emplacement mechanisms and growth styles of the Guposhan-Huashan batholith in western Nanling Range, South China[J]. Sci. China Earth Sci., 54(1):45-60.
- Okubo P G and Aki K. 1987. Fractal geometry in San Andreas fault systems[J]. Geophys. Res., 9(2):345-355.