

湘中“桃江式”锰矿含锰岩系的^① 定量研究及其找矿意义

潘汉军 侯景儒 张廷勋

(北京科技大学地质系, 100083)

提 要 本文从分析地质体数学特征的思想出发, 来研究“桃江式”锰矿的含矿母岩——“含锰岩系”的数学特征。含锰岩系主要由五种岩石组成: 粘土岩、黑色页岩、条带状页岩、含锰灰岩和碳酸锰矿层, 其数学特征研究包括其统计特征分析、结构特征分析和空间特征分析。文章最后讨论了这些数学特征在寻找同类锰矿中的意义。

关键词 桃江 锰矿 定量研究 数学特征

0 引 言

锰矿石是钢铁工业不可缺少的原料, 每炼一吨钢需要含锰 30% 以上的优质锰矿石 50~60kg。我国“八五”期间计划生产 7200 万吨钢, 则需优质锰矿石 400 万吨, 而据国内锰矿产量, 远远不能满足需要。近年来, 因世界经济开始复苏, 钢铁工业有了新的发展, 锰合金需求量大增, 供应紧张, 价格上涨。结合我国锰矿资源的特点, 在氧化锰矿石产量不足的情况下, 开发和寻找低磷、低铁、低硅、高钙及半自熔至自熔性优质碳酸锰矿石势在必行。湘中“桃江式”锰矿便具低磷、低硅、低铁富锰的特点, 是我国钢铁工业急需的优质锰矿。

“桃江式”锰矿以响涛源锰矿为典型代表, 位于湖南省桃花江西南及湘中的广阔区域。响涛源锰矿位于桃花江水库上游, 矿床浅部富含氧化锰矿石, 深部为原生碳酸锰矿。60 年代初由湖南冶金地质勘探 236 队(现为湖南省有色地质勘探局 236 队)在普查响涛源氧化锰矿基础上, 相继进行勘探、评价, 64 年 7 月开采浅部氧化锰矿石, 66 年设计开采深部碳酸锰矿, 次年投产。随后由 236 队和中南冶勘局长沙地调所继续工作至今, 相继对磨刀溪矿段、斗笠山矿段、南石冲矿段和木鱼山矿段进行勘探、评价。无论是对认识该类矿床的成矿模型也好, 还是认识该类矿床的找矿模型也好, 响涛源锰矿是研究“桃江式”锰矿的理想基地, 这一工作对指导寻找同类

^① 收稿日期 1994. 11. 16 改回日期 1995. 2. 23

矿床有十分重要的意义。本文据数学地质的理论和方法来分析其成矿模型和找矿意义。

1 矿床地质背景

矿区位于扬子地台江南台背斜东南缘、雪峰山弧形隆断带北部转折端和安化至宁乡东西构造带交汇处,区域内褶皱构造总的轮廓为一系列东西向的背、向斜组成,矿床就位于中部六通公向斜的中奥陶统地层中。断裂构造在区域上主要以北北东向的断裂为主,北东及北西向两组次之。区域内出露有桃花山岩体,以花岗岩为主,属加里东期,南部有伪山岩体,以黑云母花岗岩为主,是印支期侵入体。

区域出露地层有元古界板溪群,震旦系,下古生界寒武系、奥陶系、志留系,上古生界泥盆系、石炭系、二叠系,中生界有三叠系,侏罗系和白垩系,新生界有第三系和第四系。“桃江式”锰矿赋存在中奥陶统中部磨刀溪组泥质岩类岩层中,呈层状、似层状、透镜状,主要分布在湘中的桃江、益阳、安化、宁乡四县,面积约1000余 km^2 ,以响涛源锰矿规模最大,最具代表性。磨刀溪组(O_2m)地层主要由黑色页岩、条带状页岩、含锰灰岩、碳酸锰矿层和粘土岩组成。矿床具有明显的层位控制(图1),赋矿层位表明,具有完整韵律层地段锰矿规模大,层位稳定,具上、下二层矿。所以研究含锰岩系的地质特征及时空规律具有十分重要的找矿意义。本文从研究地质体的数学特征思想(赵鹏大,1982)出发,研究含锰岩系的数学地质特征,并指出其找矿意义。

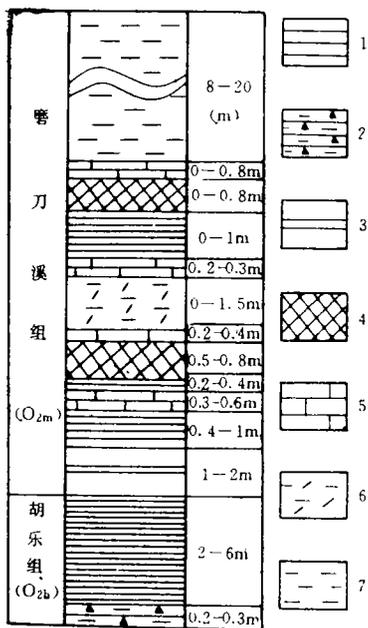
2 含锰岩系的统计特征分析

含锰岩系包括中奥陶统胡乐组和磨刀溪组地层,产要由黑色页岩、条带状页岩、含锰灰岩、碳酸锰矿及粘土岩等组成。研究含锰岩系的统计特征对分析矿床成因、成矿及成岩过程具有十分重要的意义。

表1 原生碳酸锰矿锰含量分布特征

Table 1 The distributive indexes of Mn values in MnCO_3 ores

矿区及矿段	样品数	均值(%)	标准差	变化系数	分布类型
南石冲	191	17.80	4.05	0.227	对数正态
木鱼山	270	16.85	3.56	0.221	混合分布
木鱼山西段	62	16.46	3.29	0.20	正态分布
高明	22	19.17	5.18	0.262	正态分布
牧子洞	31	17.87	4.24	0.237	正态分布



1. 黑色页岩 2. 松散状黑色页岩 3. 条带页岩
4. 碳酸锰矿层 5. 含铁锰灰岩 6. 碳酸盐质泥岩 7. 灰色粘土岩

图1 “桃江式”锰矿含锰岩系地层柱状图
Fig. 1 Columnar of manganeseiferous rock series for "Taojiang Type" manganese ore

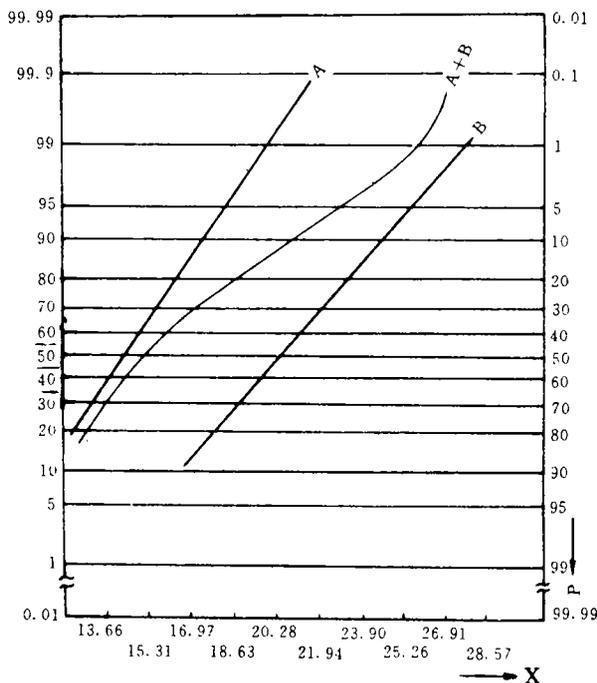


图2 木鱼山矿段 Mn 含量混合总体筛分
Fig. 2 The sieving of complex distributions of Mn values in Muyushan Orebody

2.1 原生碳酸锰矿及次生氧化锰矿锰铁分布特征

我们收集了“桃江式”锰矿典型矿段及矿点的锰分析值,进行了统计分析,统计特征对比见表1。要强调的是变化系数均小于1.0,为均匀变化。木鱼山矿段锰值表现为混合分布,筛分结果见图2,高值总体(B)与低值总体(A)之比为75%:25%,对应两个不同的成矿阶段;表现为正态分布的矿床如木鱼山西段、高明、牧子洞多为一层矿。同样,碳酸锰矿中全铁(TFe)含量的统计特征表明:第一,南石冲、木鱼山等5个矿段的含量服从正态分布和对数正态分布;第二,全铁变化系数在0.2至0.6之间,为均匀变化,说明物质交换及后期改造次数少,变化性不大。

通过考察次生氧化锰矿中锰及全铁含量的统计特征发现:第一,氧化锰矿中锰含量分布为正态分布;全铁(TFe)含量分布服从正态分布,说明其成因都为一种地质作用形成,即表生淋滤氧化;第二,通过对比氧化锰和锰土,锰土中锰的均值只有8.57%,大大低于氧化锰中的锰值,而铁的均值高达10.37%,高于氧化锰中铁的含量,可见,氧化锰进一步遭受风化而为锰土后,锰易溶而淋失了,铁难溶则相对富集了;第三,氧化锰和锰土中锰和铁含量都明显高于原生碳酸锰矿床,说明碳酸锰遭受氧化过程中,锰和铁都相对富集了。

2.2 含锰灰岩中锰、铁统计特征

含锰灰岩是含矿岩系中与碳酸锰矿密切相关的一个层位,研究它对指导找矿有一定的参

考价值。表2给出的部分统计结果表明,锰含量为混合分布;TFe含量为对数正态分布。据目前国内外研究认为,对数正态分布多为两个总体混合而成(赵鹏大,1983),倾向于一种混合分布观点。筛分结果表明,含锰灰岩中锰质来自两个不同的总体(表3)。据这种观点,表1中南石冲Mn服从对数正态分布与木鱼山中锰分布有同样的含义。

表2 含锰灰岩锰含量分布特征

Table 2 The distributive indexes of Mn Values in manganiferous limestone

组分	矿区及矿段	样品数	均值	标准差	分布
Mn(%)	木鱼山段+南石冲段	537	5.174	3.452	双峰混合
TFe(%)	木鱼山段+南石冲段	517	2.556	1.413	对数正态

表3 含锰灰岩锰含量混合分布筛分结果

Table 3 The sieving of complex distrib. of Mn in manganiferous limestone

成分总数	比例	样品数	估计均值	估计标准差
高总体 A	40%		9.8	2.0
低总体 B	60%		2.9	1.30
混合总体 A+B	100%	537	5.174	3.452
检验 $P(A+B)$ 实际=40%; $P(A+B)$ 理论=38.88%				

表4 黑色页岩锰铁含量分布特征

Table 4 The distribution indexes of Mn & Fe values in black shales

组分	样品数	最小值	最大值	平均值	标准差	变化系数	分布律
Mn (%)	276	0.06	12.13	1.455	2.309	1.587	混合分布
TFe (%)	273	0.31	13.46	4.542	1.685	0.371	混合分布

表5 粘土岩锰铁等含量分布特征

Table 5 The distributive indexes of Mn and other elements in clayrocks

组分	样品数	均值	标准差	变化系数	分布类型
Mn (%)	139	0.395	0.937	2.376	双峰混合
TFe (%)	139	2.070	2.060	0.995	双峰混合
P (%)	138	2.449	2.228	0.910	双峰混合

2.3 黑色页岩与粘土岩的统计特征

考察黑色页岩中锰铁的分布特征,选择的样本有 276 个样品,其中有 69 个来自南石冲段,其余为木鱼山段。对全铁而言,样本中有 204 个样品来自木鱼山段,有 69 个为南石冲段。计算结果列于表 4。通过总体筛分表明:页岩经历了二次成岩作用,很可能伴随着二次动荡的成岩环境。同样对粘土岩的研究表明,其中的 Mn、TFe 及 P 都为双峰混合分布,同样经历着两次成岩作用(表 5)。通过上述对含锰岩系的统计特征分析可知,成矿与成岩伴随着两次活动,这可通过碳酸锰矿中锰分布、含锰灰岩中的锰、铁分布,黑色页岩及粘土岩中的锰、铁分布刻画出来。

3 含锰岩系的结构特征分析

3.1 碳酸锰矿的结构特征

作者选择了部分有代表性的碳酸锰矿样品来分析成矿元素与伴生组分(或氧化物)的亲缘关系,从计算结果(表 6)可知:第一,在 0.6 相关系数水平上,只有 TFe 与 Al_2O_3 为一类,其余各元素及氧化物彼此独立,共分 6 组;第二,锰元素与其它元素(或氧化物)多呈不相关或负相关,倾向于一种反消长关系。

表 6 各矿段及矿点 Mn 与伴生组份相关系数对比

Table 6 the correlation of relative coefficients among Mn and associated components in various orebodies

矿段	样品数	TFe	P	SiO ₂	CaO	MgO	Al ₂ O ₃
南石冲 Mn	30	-0.524	-0.187	-0.267	-0.617	-0.008	-0.534
木鱼山 Mn	30	-0.653	-0.157	-0.651	-0.299	0.126	-2.97
高敏 Mn	23	0.180	0.100	-0.371	-0.273	-0.561	0.177
牧子洞 Mn	10	0.507	0.372	0.067	-0.780	-0.556	0.344

3.2 含锰灰岩的结构特征

为了分析含锰灰岩各组份间的结构特征,利用了木鱼山矿段样品 12 个,南石冲矿段含锰灰岩样品 10 个,木鱼山西段样品 8 个,计算得相关矩阵:

	Mn	TFe	P	SiO ₂	CaO	MgO	Al ₂ O ₃
Mn	1	0.05	-0.171	-0.232	-0.253	0.385	0.064
TFe		1	0.128	0.727	-0.875	0.348	0.833
P			1	0.0998	-0.0991	-0.3323	0.383
SiO ₂				1	-0.7902	0.0939	0.6331
CaO					1	-0.3623	-0.3071
MgO						1	0.0459
Al ₂ O ₃							1

可见,当相关系数临界值为 0.5 时,变量分 5 类,其中 CaO、Mn、MgO 及 P 单独一类,只有 Al₂O₃、TFe 与 SiO₂ 为一组。锰的结构特征与它在碳酸锰矿中的表现特征相似。

3.3 黑色岩系的结构特征

桃江中奥陶统黑色页岩系主要由七类岩石组成(饶雪峰,1990)即黑色页岩、黑色粘土岩、黑色硅质页岩、条带状页岩、黑色碳酸盐质页岩、黑色碳酸盐质硅质页岩及黑色硅岩,其中含有笔石、放射虫,有孔虫等浮游生物化石。各组份的相关特征(图 3)可分为四组:第一组为 Mn, CaO, 相关系数大于 0.9084, 然后依次加入 Sr, TiO₂ 和 Ni, 相关系数大于 0.6949; 第二组为 P, Zn 和 TFe, 相关系数大于 0.5378, 然后依次加入 Fe₂O₃、S、Cr、MgO 和 Na₂O, 相关系数大于 0.2246; 第三组为 Al₂O₃ 和 K₂O, 相关系数为 0.8780, 然后依次加入 Rb, Be, Ga, Zr, B, Cu, Co, Pb; 第四组为 SiO₂, Ba, 相关系数大于 0.211, 依次加入 C, V。

可见,相关程度较高的有 Mn 与 CaO, 为第一组; Al₂O₃ 和 K₂O, 为第三组; 而第一、二组又

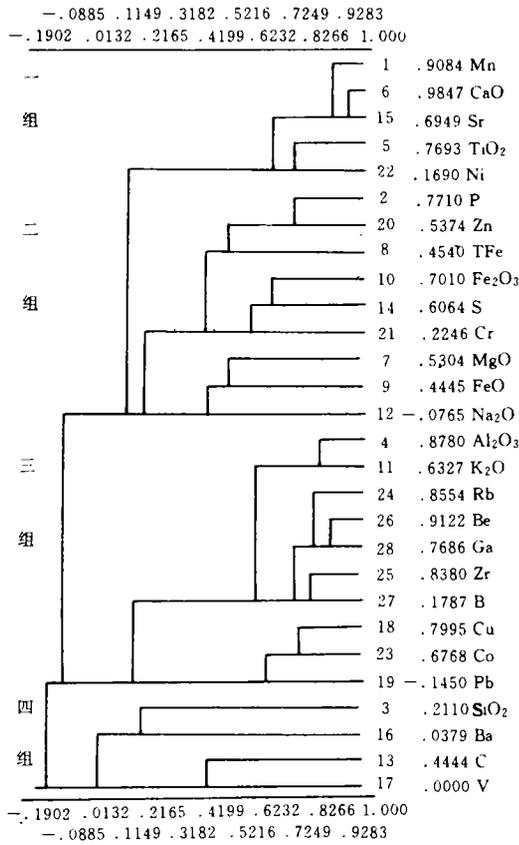


图 3 黑色岩系各组份结构特征
(据长沙地调所,1992)

Fig. 3 The structure characters of various components in black shale series

为正相关关系。第二组组分为 Ni, P, Zn, TFe, Fe₂O₃, Cr, MgO, FeO 和 Na₂O, 这种组合反映了母岩有偏基性—中性岩的特征。第三组成分为 Al₂O₃、K₂O。Rb、Be、Ga、Zr、B、Co、Pb, 又反映出母岩的酸性岩特征, 相当于古老陆壳硅铝质岩的特点。并且第一、二组与第三、四组为负相关关系, 充分反映了黑色岩系有二种物质来源, 一种为陆源, 酸性岩; 另一种为地壳深部, 基性岩。

综合前述含锰岩系的统计特征分析和结构特征分析, 表明成矿伴随着两个阶段, 成岩物质有两种来源, 即陆源和壳源。

4 含锰岩系的空间特征分析

4.1 含锰岩系层位转移概率分析

中奥陶统“桃江式”锰矿受层位性控制,而且沉积序列明显,黑色岩系中各种岩性交替出现、多层重复(图1)。这种地层层序是否符合随机过程中的马尔柯夫理论,有何实际意义?我们进行了分析。把模型建立在有代表性的响涛源锰矿,选用南井和北井50m、100m、150m和200m四个块段的多个剖面进行分析。首先状态划分要有明确的地质意义。我们选用五种状态:黑色页岩(1)、条带状页岩(2)、含锰灰岩(3)、碳酸锰矿(4)及粘土岩(5)。参加计算的剖面有近25条,典型的六种剖面(图4)显示了它们在多大的 χ^2 检验水平上符合马氏链的要求,并能接受 C_n 检验。显然在 χ^2 检验0.05置信度水平上有I, II, III, IV种剖面符合马氏链要求,剖面具有马尔柯夫性质。

选择其中III号剖面进行分析,其向上转移概率阵为:

$$\begin{array}{c} \text{状态} \\ 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \end{array} \left\{ \begin{array}{ccccc} 1 & 2 & 3 & 4 & 5 \\ 0.00 & 0.25 & 0.25 & 0.50 & 0.00 \\ 1.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.333 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.667 \\ 0.00 & 0.00 & 1.00 & 0.00 & 0.00 \\ 1.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 \end{array} \right\}$$

矩阵中的 P_{ij} 的大小反映了状态 i 转移到状态 j 的概率大小, P_{ij} 越大,从 i 到 j 转移的可能性越大。如 $P_{35}=0.667$,表示由含锰灰岩转移到粘土岩的概率为0.667。由向上转移概率阵自乘21次得到极限概率为:0.332,0.0834,0.2497,0.1668,0.1669,表示该剖面中各状态所占比例,可以看出黑色页岩和含锰灰岩的比例为大。

4.2 含锰岩系沉积旋回类型分析

通过熵分析来进一步讨论沉积旋回。熵是一种不确定性的度量法,熵值大小与某一系统中含有多少组份以及每一组份所占比重大小有关,熵值越大,该系统越不稳定;熵值为零,说明系统是确定型的。四个剖面的旋回类型及旋回趋向对比如下(表7)。

归纳上面的旋回类型可以看出:主要旋回类型为黑色页岩→碳酸锰矿→含锰灰岩→粘土岩→黑色页岩。但粘土岩有时不出现,则旋回类型简为黑色页岩→碳酸锰矿→含锰灰岩→黑色页岩。

对旋回类型的性质和归属的确定,需要与“理想可能沉积旋回模式图”(景毅,1982)对比得到。通过对所选择的四个剖面的前熵值、后熵值计算对比,属于非对称型旋回。图5和图6是其中I号剖面 and II号剖面的熵相关图。

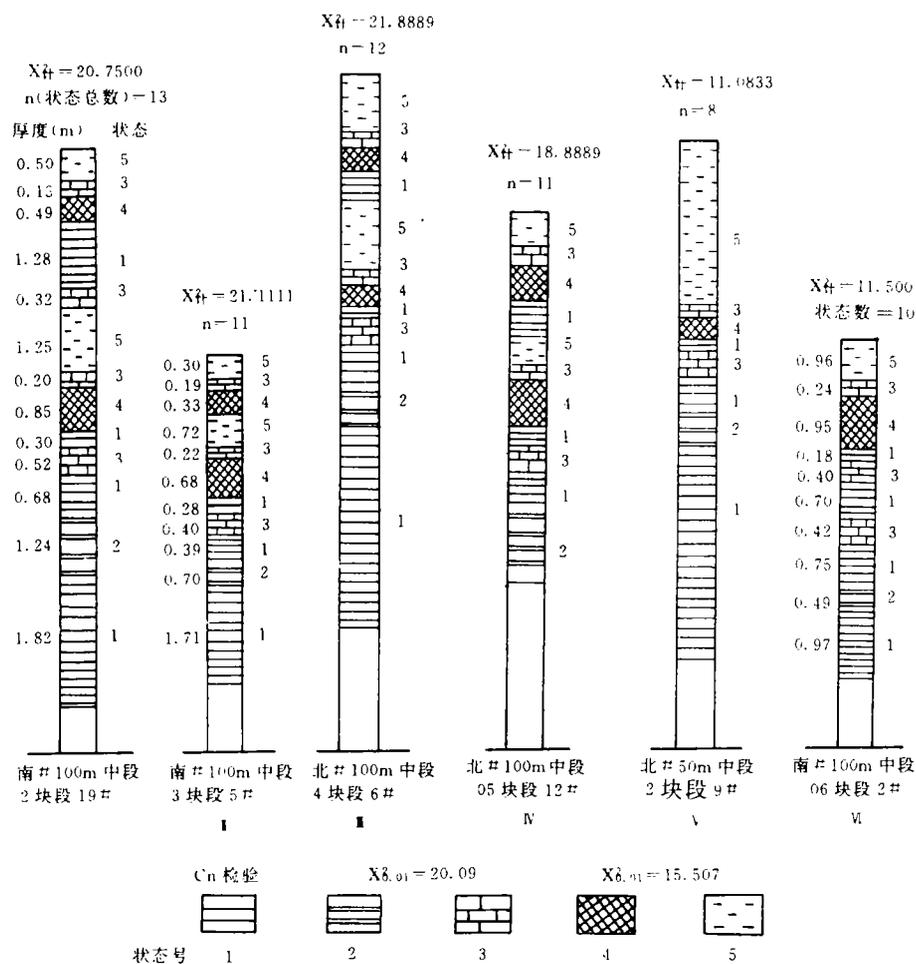


图4 “桃江式”锰矿含锰岩系的六种剖面

Fig. 4 The six columnar sections of manganese-bearing rock series for ‘Tao jiang Type’ manganese ore

4.3 含锰岩系沉积环境的研究

在此我们通过系统熵来刻画沉积环境。所谓系统熵指系统的不确定性变量。如果对一个系统,有 N 种组分,即可看成有 N 个状态的过程,其系统熵可表示为:

$$H_{(\text{系统})} = - \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N r_{ij} \text{Log } r_{ij}$$

这里:

$$r_{ij} = \frac{N_{ij}}{F}, F = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N N_{ij}$$

表 7 含锰岩系旋回趋向图

Table 7 the models of cycle decomposition of manganiferous rock series

剖面号	沉积旋回	旋回趋向图
I	① → ^{0.125} ④ → ^{0.125} ③ → ^{0.125} ①	
II	① → ^{0.053} ④ → ^{0.263} ③ → ^{0.053} ① ④ → ^{0.053} ③ → ^{0.210} ⑤ → ^{0.210} ④	
III	① → ^{0.167} ④ → ^{0.167} ③ → ^{0.166} ⑤ → ^{0.167} ①	
IV	① → ^{0.20} ④ → ^{0.20} ③ → ^{0.20} ⑤ → ^{0.20} ①	

注：结点代表状态 箭头代表转移 数字代表概率

而 N_{ij} 指向上转移概率矩阵所对应的频数矩阵中第 i 种状态转移为第 j 种状态的频数。我们计算的其中四个典型剖面的系统熵为：

- I 剖面 $H = 2.9183$
- II 剖面 $H = 2.9289$
- III 剖面 $H = 2.9140$
- IV 剖面 $H = 2.7219$

因为关于自然沉积过程所继承的熵值早为前人所导出(据景毅,1982)。我们通过对比,认为含锰岩系的熵值相对为低熵,属于浅海继承的熵(图7),环境相对稳定,但有一二次动荡期。

5 找矿意义

通过我们所做的工作,认为下面几点为指导找矿是十分有意义的。

(1)“桃江式”锰矿的成矿过程伴随着两个成矿阶段。这可以通过含锰岩系的统计特征反映出来,具体地说,通过对原生碳酸锰矿及氧化锰矿中锰含量的分布;含锰灰岩中锰、铁含量分

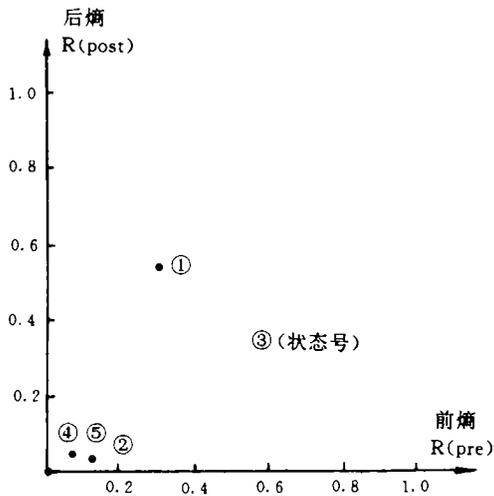


图5 I号剖面“理想非对称型旋回”熵相关图

Fig. 5 The relative diagram of entropy of I section — “non-symmetrical cycle type”

布;黑色页岩及粘土岩中的锰、铁分布及筛分结果推出:一次成矿作用伴随着高含量锰值;另一次成矿作用伴随着低含量锰值。

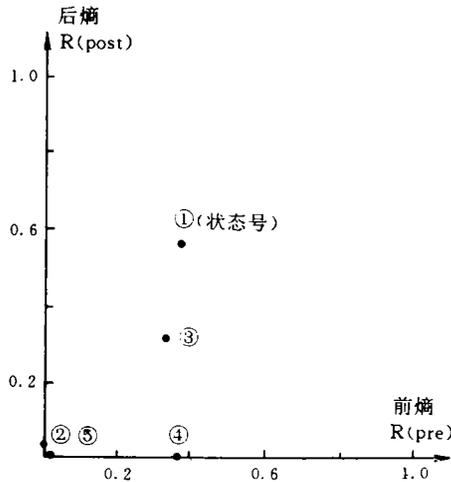


图6 I号剖面“上部缺失非对称型旋回”熵相关图

Fig. 6 The relative diagram of entropy of II section — “non-symmetrical cycle of upper lossing”

(2)结合锰、铁等组分的分布特征及结构特征,含锰岩系的成岩及成矿作用物质来源有多重性,一种为陆源,含有酸性岩组分;另一种为壳源,含有偏基性—中性岩的组分。

(3)含锰岩系表现的典型的旋回类型:黑色页岩→碳酸锰矿→含锰灰岩→粘土岩→黑色页岩。对广阔区域的一般旋回形式常常表现为:黑色页岩→碳酸锰矿→含锰灰岩→黑色页岩。凡出现黑色页岩、粘土岩及含锰灰岩都是十分明显的找矿标志;如果含有韵律性分布的话,常能指示碳酸锰矿的出现。我们在响涛源锰矿的外围万家洞锰矿的成矿预测中,得到了很好的应用效果。

(4)含锰岩系的沉积环境为浅海相,水体较为稳定,还原环境,但伴随着动荡过程。

参考文献

- 1 赵鹏大,等. 矿床统计预测. 第1版. 北京:地质出版社,1983
- 2 赵鹏大. 试论地质体的数学特征. 地球科学,1982,(1)
- 3 潘汉军,等. 点评价的探索与实践. 中国数学地质3. 北京:地质出版社,1991,174~182
- 4 景毅,等. 马尔柯夫过程在地质学中的应用. 第1版,北京:地质出版社,1982
- 5 潘汉军. 马尔柯夫过程在基性—超基性岩体含矿性评价中的应用. 地质探索,1989,19~26,武汉:中国地质大学出版社

社

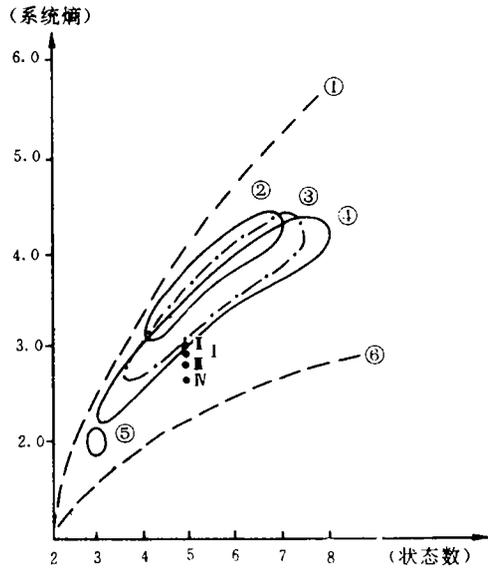
6 张光前,李继英. 定量岩石地层学. 第1版. 武汉:中国地质大学出版社,1991

7 饶雪峰,范德廉. 湘中桃江中奥陶统黑色岩系岩石学地球化学及成因. 岩石学报,1990,(3):78~86

8 罗志立. 扬子古板块的形成及其对中国南方地壳发展的影响. 地质科学,1979,127~138

9 Donald A Singer. Basic Concepts in Three-Part Quantitative Assessments of Undiscovered Mineral Resources. in Nonrenewable Resources. 1993, vol. 2, no. 2, 69~81

10 长沙地质调查所. 湘中锰矿1/10万岩相古地理调研报告. 1991



①表最大熵值 ②表系序列的熵 ③表河流-冲积系列的熵 ④表浅海相序列的熵 ⑤表复理式沉积物的熵 ⑥表最小的熵值

圆点·表示桃江锰矿四个剖面含锰岩系系统熵

图7 岩相序列的沉积环境与熵的关系图

Fig. 7 The relative diagram of lithofacies series between entropy and sedimentary environments

THE QUANTITATIVE ASSESSMENTS OF MANGANIFEROUS ROCK SERIES OF “TAOJIANG TYPE” MANGANESE ORE AND ITS PROSPECTING IMPLICATIONS IN THE CENTRAL REGION OF HUNAN PROVINCE

Pan Hanjun Hou Jingru Zhang Tingxun

(Dept. of Geology, Univ. of Sci. & Tech. Beijing, 100083)

Abstract

This paper is based on ‘the theories of the Mathematical characters For Geological Objects’ analysing the mathematical characters of ore — bearing mother rocks of ‘Tao jiang Type’ manganese deposit and manganiferous rock series which consists of five rock types, i. e. black shale, banding shale, clayrock, manganiferous limestone and carbonate manganese ore bed. The mathematical characters include statistical characters, structure characters, spatial characters.

At first, the statistical characters mainly state the distributive types and the sieving characters of complex distributions of manganese values and associated component values in manganiferous rock series and their genetic implications.

Secondly, the structure characters give the relative links and the clustered characters of manganese element and associated components, and indicate their lithogenetic implication; thirdly, spatial characters are based on the theories of Markov processes in stochastic process analysing the time — space laws of manganiferous rock series and including the studies of the transition probability of five rock types, the studies of sedimentary cycle type and the analysis of sedimentary environments.

Finally, the paper discusses the potential implications of these mathematical characters in prospecting for “Taojiang Type” manganese deposits.