

3

数学地质专辑

王世称 刘素华 等

地质出版社

数学地质专辑

(3)

王世称 刘素华 等

地质出版社

内 容 提 要

本书内容共分两部分。第一部分是作者结合地质工作实践写出的论文,涉及到地层、矿产地质研究和预测、岩石化学等诸方面。第二部分为译文集,介绍了数学地质在地层、古生物、构造等诸方面的应用,其中反映数学地质领域新动态的文章有应用分数维法模拟地质体表面。这些译文除注明出处外,都是选自Recent Advances in Geomathematics一书。

本书可供数学地质专业人员以及地质院校师生阅读。

数学地质专辑

(3)

王世称 刘素华 等

责任编辑:杨友爱

地质出版社出版发行

(北京和平里)

地质出版社印刷厂印刷

(北京海淀区学院路29号)

新华书店总店科技发行所经销



开本: 787×1092¹/₁₆ 印张: 13.625 字数: 325000

1990年7月北京第一版·1990年7月北京第一次印刷

印数: 1—976册 国内定价: 6.00元

ISBN 7-116-00659-1/P·562

目 录

第 一 部 分

运用马尔柯夫链对迁安含铁变质岩系地层划分·····	王世称 刘安洲 苑清扬 (1)
全部回归分析与选优方法及其在地质学中的应用	
·····	徐振邦 姜元仁 金淳浩 (15)
FIR数字滤波及其在地质中的应用·····	徐道一 (26)
成矿是必然事件还是随机事件·····	杨蔚华 刘友梅 李林林 (36)
柿竹园矿区找矿方向的预测及其验证·····	王昌烈 (50)
云南矿山厂层控铅锌矿床控矿构造的数学模型	
·····	廖文 彭国发 刘自荣 王学仁 杨明芳 (52)
线性罗吉特分析·····	周 蒂 (66)
成矿预测中模型单元选择的方法探讨·····	王於天 (73)
某矿田矽卡岩型铁矿统计预测的研究·····	孙树浩 (81)
关于协方差函数的正确计算及其他·····	黄世乾 (93)
数理统计方法在地层对比工作中的应用——内蒙某矿区8、9、10号矿体	
含矿层对比·····	郭光裕 白宇辉 周天元 (99)
湘西金矿沃溪一号脉金、锑、钨矿化特征的因子分析	
·····	李公时 侯光汉 潘恩沛 (112)
火成岩系钙碱系数的计算·····	刘昌实 牟惟熹 (117)
常见浅成岩、喷出岩的数字分类	
·····	邓晋福 徐道一 赵崇贺 孙桂英 邵道乾 (121)
勉略宁三角地带铁矿统计预测·····	徐士宏 (126)

第 二 部 分

应用分数维法模拟地质体表面

·····	E. A. Yfantis G. T. Flatman E. J. Englund (136)
澳大利亚大堡礁省LADY MUSGRAVE礁生物碎屑碳酸盐沉积物成分数	
据的多元分析·····	P. G. Flood J. Allen G. R. Orme (140)
利用形态测量对异速生长进行多元分析	
·····	J. C. Brower C. R. Clement J. Veinus (150)
地层对比与距离之间的关系——蒙特卡洛法研究·····	T. Jasko (160)
实验制图机构中的人机对话绘图·····	S. B. M. Bell D. P. Bickmore (169)
三维内插法·····	I. Pauncz K. R. Johnson (179)
变质构造岩相关数据分析: 由叠覆关系推导形变顺序	
·····	K. L. Burns J. Shepherd B. Marshall (190)
根据微量元素或痕量元素的含量进行石灰岩单元特征的多元分析	
·····	L. L. Chyi L. Elizalde G. E. Smith W. D. Ehmann (206)

第一部分

运用马尔柯夫链对迁安含铁 变质岩系地层划分

王世称 刘安洲 苑清扬

运用马尔柯夫链研究前震旦系含铁变质岩系是一个新的尝试。几年来我们在冀东迁安地区,在实测剖面的基础上,选用了马尔柯夫链方法,经电子计算机处理,对含铁变质岩系进行了综合分析^①。

迁安含铁变质岩系归属于太古界迁西群三屯营组。由于该变质岩遭受了不同程度的混合岩化作用及复杂的构造运动,致使对地层划分和构造模式的建立比较困难。

对本区变质岩系地层划分主要有两种不同意见。一种意见认为:迁安地区东、西矿带应归属同一层位,对地层划分及构造模拟是中央复背斜,为层2。其两翼各配置了一个复向斜1和3,1、3为同一含矿层位沿中央背斜的两侧对称出现,地层划分为两套,第一套位于下部,第二套位于上部。另一种意见认为:东、西矿带含铁变质岩系不属于同一层位,按此观点对地层划分及构造模拟,东矿带是一个复式向斜,轴部为层V铁矿,两翼依次为层IV、层III、层II。西矿带为一个不完正的复背斜,地层划分为I—VI层,其中层V与层II分别是上、下两个不同的含铁层位。我们在前人工作的基础上,运用马尔柯夫链综合分析,对东、西矿带的含铁层位进行了对比,从数学地质角度研究东、西矿带的含铁变质岩系的特征,并对层II与层V铁矿层进行了对比及划分。

根据对含铁岩系划分I—V层的意见,其中I、II为下含铁岩系,III、IV、V为上含铁岩系。按主要岩石类型特征,对含铁岩系共划分为八种状态:黑云变粒岩^①,条带状磁铁石英岩^②,浅粒岩^③,紫苏麻粒岩^④,斜长角闪岩^⑤,黑云斜长透辉岩^⑥,暗色麻粒岩^⑦,石榴黑云片麻岩、砂线黑云片岩^⑧。

在含铁岩系岩石类型划分的基础上,又对层II、V铁矿层状态按着矿石和夹层的岩性差异也划分为八种类型状态:黑云变粒岩(1),浅粒岩(3),紫苏麻粒岩(4),条带状磁铁石英岩(5),条带状辉石磁铁石英岩(6),条带状、片麻状磁铁石英岩(7),含辉石、磁铁石英岩(8),石榴磁铁石英岩(9)。

笔者应用马尔柯夫链综合分析,对迁安地区东、西矿带的上、下含铁变质岩系及层II层V铁矿层进行对比划分。

① 此项工作得到了首钢地质勘探公司及普查队的同志以及长春地质学院景毅、张贻侠、兰玉琦等同志的热情帮助,在此致谢。

一、下含铁变质岩系

对西矿带下含铁变质岩系进行马尔柯夫链综合分析的结果（如G剖面），其主要特征如下（表1）：

表 1 上含铁岩系转移极限概率统计表

剖面 位置 状态 编号	西 翼							东 翼						
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(7)	(8)	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(7)	(8)
H剖面	0.290	0.194	0.161	0.161	0.032	0.097	0.065	0.428	0.179	—	0.214	—	0.107	0.071
I剖面	0.398	0.342	—	0.129	—	0.087	0.044	0.338	0.147	0.067	0.239	—	—	0.009
J剖面	0.416	0.151	—	0.151	—	0.194	0.187	0.356	0.097	—	0.193	—	0.290	0.064
K剖面	0.452	0.286	—	0.067	0.057	—	0.057	0.452	0.286	—	0.067	0.057	—	0.057
L剖面	0.427	0.289	—	0.179	—	0.061	0.045	0.475	0.956	—	0.159	—	0.110	—

黑云母变粒岩的极限概率等于0.379，暗色麻粒岩的极限概率等于0.173，紫苏麻粒岩的极限概率等于0.172，条带状磁铁石英岩的极限概率等于0.138。它们反映出下含铁岩系的各种类型的比例，黑云变粒岩出露的倾向性最大，暗色麻粒岩、紫苏麻粒岩、条带状磁铁石英岩的极限概率比较接近（图2，G剖面柱状图）。

置换分析（图1，表2），从左置换、右置换、互置换分析谱系图可明显看出：条带状磁铁石英岩②、暗色麻粒岩⑦、紫苏麻粒岩④、斜长角闪岩⑤之间相似系数较大，具有显著的相似关系，说明了磁铁石英岩—暗色麻粒岩—紫苏麻粒岩—斜长角闪岩，它们之间是紧密共生的。

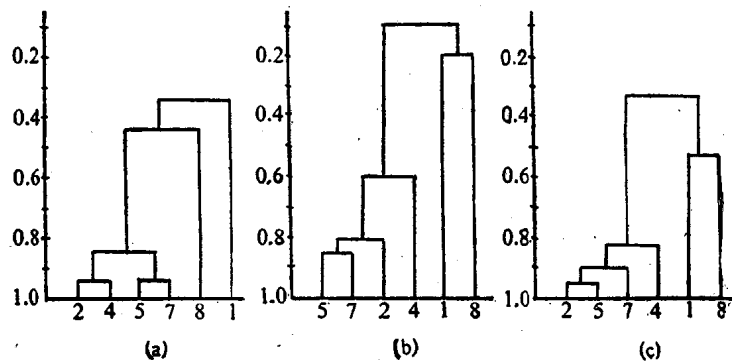


图 1 G剖面置换分析谱系图

(a)—左置换；(b)—右置换；(c)—互置换

熵组分析（图2，表5）结果，下含铁岩系的黑云变粒岩①、浅粒岩③、条带状磁铁石英岩②、暗色麻粒岩⑦、石榴黑云片麻岩⑧的 $H^{(post)} = H^{(pre)}$ ，该含铁岩系明显属于典型对称旋回含铁岩系，其中石榴黑云片麻岩及砂线黑云片麻岩的 $H^{(post)} = H^{(pre)} = 0$ ，

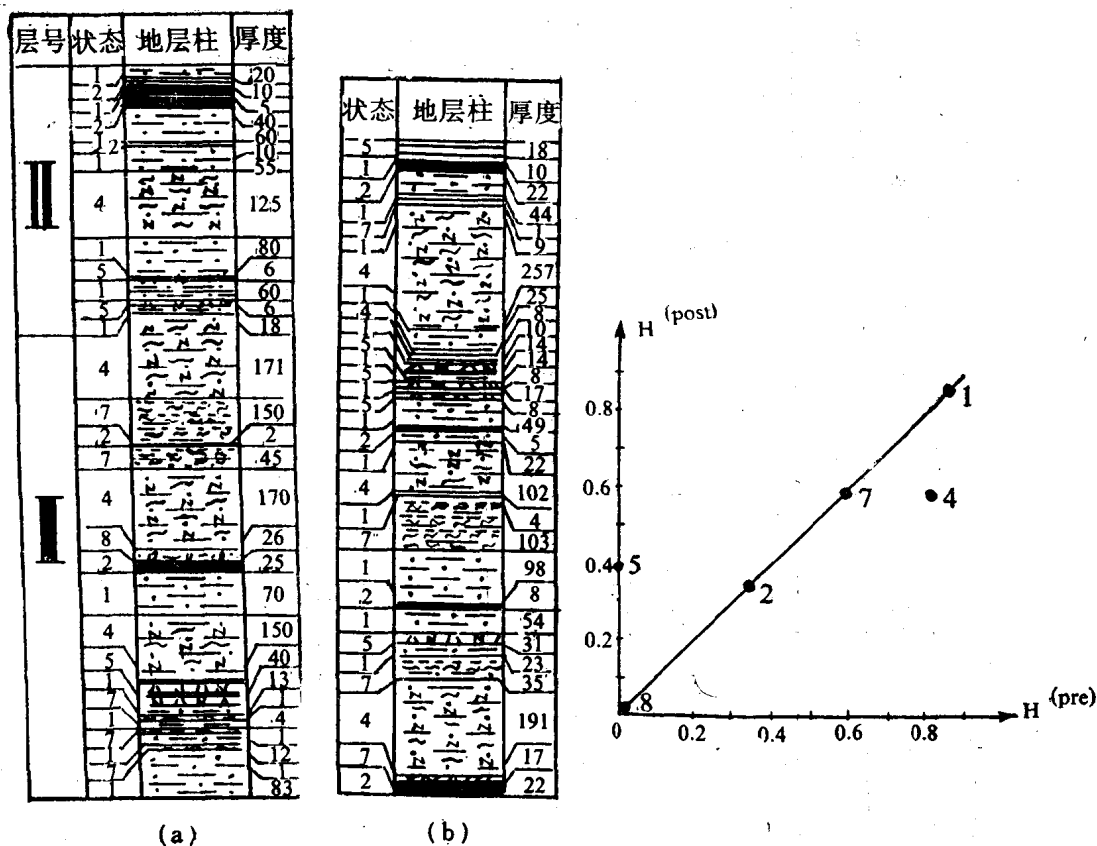


图 2 G剖面柱状图 (1:20000)、G剖面熵相关图
(a)一实测; (b)一模拟

说明它们都是一个确定性状态。

下含铁岩系的层II铁矿, 根据水厂层II剖面及V剖面层II铁矿马尔柯夫链综合分析的结果, 其主要特征如表2: 极限概率较高的为条带状磁铁石英岩 (5), 其次为条带状辉石磁铁石英岩 (6), 它们的极限概率分别为0.396—0.167和0.166—0.104; 围岩夹层主要是

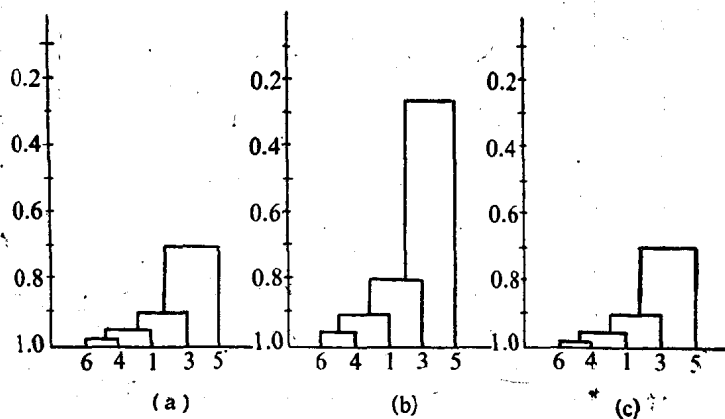


图 3 V剖面层II铁矿置换分析谱系图
(a)一左置换; (b)一互置换; (c)一右置换

黑云变粒岩(1)其次为浅粒岩(3), 极限概率分别为0.271—0.167。故层Ⅱ铁矿主要矿石类型为条带状磁铁石英岩(5)、条带状辉石磁铁石英岩(6), 主要围岩夹层是黑云变粒岩、浅粒岩(图4, 柱状图)。

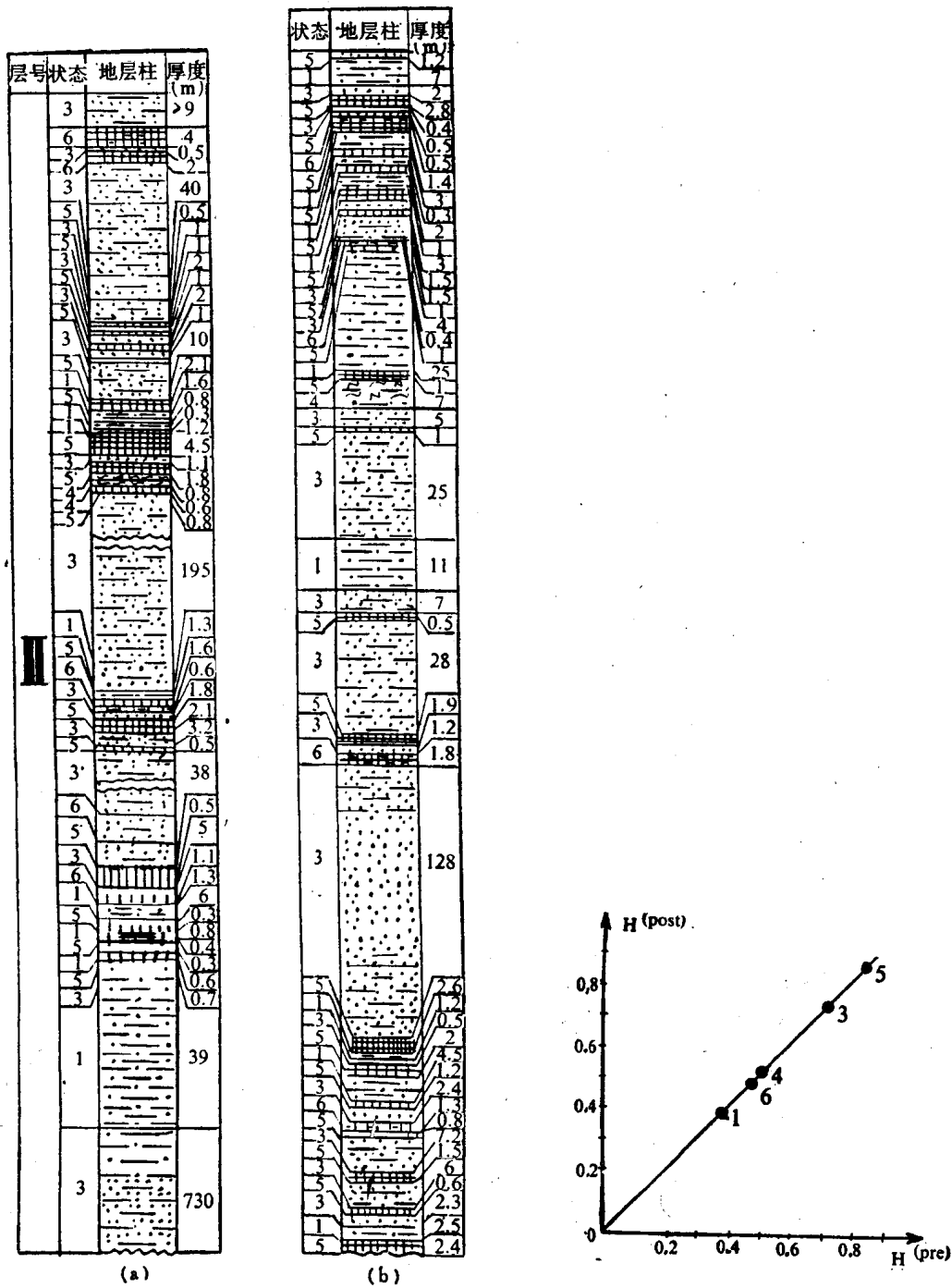


图 4 V剖面层Ⅱ铁矿地层柱状图(1:2000)、V剖面层Ⅱ铁矿熵相关图
(a)—实测; (b)—模拟

置换分析 (表2)和相应的置换分析谱系图 (图3), 层Ⅱ铁矿左置换和右置换特点基本一致, 矿层的层序有明显的对称性, 从左右置换分析谱系图看, 在0.5相似系数水平上, 条带状磁铁石英岩 (5) 和条带状辉石磁铁石英岩 (6) 二种矿石有明显相似关系。但其中条带状磁铁石英 (5) 相似系数较其它都小, 不及其它状态置换, 故属比较稳定的矿石类型。

熵组分析, 层Ⅱ铁矿的 $H^{(post)}=H^{(pre)}$, 它属于典型转移对称旋回含铁矿层。这同左、右置换分析相等的特点完全一致。条带状辉石磁铁石英岩 (6) 的熵值小于条带状磁铁石英岩 (5), 说明层Ⅱ铁矿的条带状辉石磁铁石英岩 (6) 是比较稳定, 确定性较强的一类矿石类型 (图4)。

二、上含铁变质岩系

该区东矿带上含铁岩系, 通过十个实测剖面的马尔柯夫链综合分析结果, 可得出其主要特征 (图7、图8柱状图)。这十个剖面上各状态极限概率大小的变化规律为: 黑云变粒岩①极限概率为0.475—0.290, 条带状磁铁石英②极限概率为0.356—0.147, 紫苏麻粒岩④极限概率为0.239—0.129, 暗色麻粒岩⑦极限概率为0.209—0.044, 它们是上含铁变质岩系中主要地层; 极限概率最小者为浅粒岩③0.161—0.067, 斜长角闪岩⑤极限概率为0.057—0.032, 它们是次要围岩。由此可见, 上含铁变质岩系富含石榴黑云片麻岩的转移极限概率显著高于下含铁岩系, 因而它们之间有明显区别 (表1)。

置换分析: 以K、I两个剖面为例 (图5, 图6, 表3), 谱系图表明, 在相似性系数大于0.5的水平上, 条带状磁铁石英岩②、紫苏麻粒岩④、石榴黑云片麻岩及矽线石片岩⑧、暗色麻粒岩⑦, 形成磁铁石英岩—石榴片麻岩—紫苏麻粒岩—暗色麻粒岩的含铁变质旋回, 它们之间有明显的相似关系。但含铁岩系的状态组合比较复杂, 故与下含铁变质岩系有所区别。浅粒岩③和黑云变粒岩①, 它们的相似性系数相对较小, 在置换分析的谱系图中多为独立存在。

熵组分析 (表5): 上含铁变质岩系的黑云变粒岩①、条带状磁铁石英岩②、浅粒岩③, 它们的向上转移的熵值 $H^{(post)}$ 不等于向下转移的熵值 $H^{(pre)}$, 为转移非对称性的旋回,

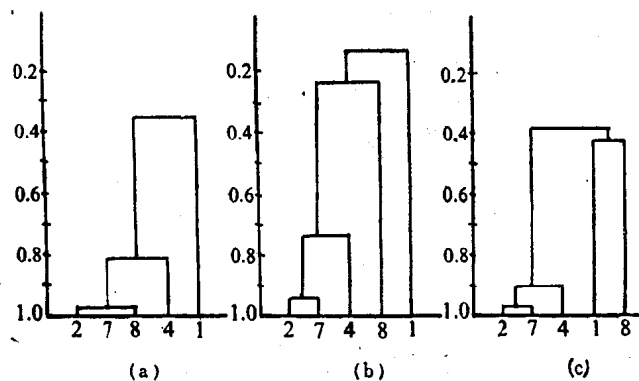


图5 K剖面 (西) 置换分析谱系图

(a) 一左置换; (b) 互置换; (c) 一右置换

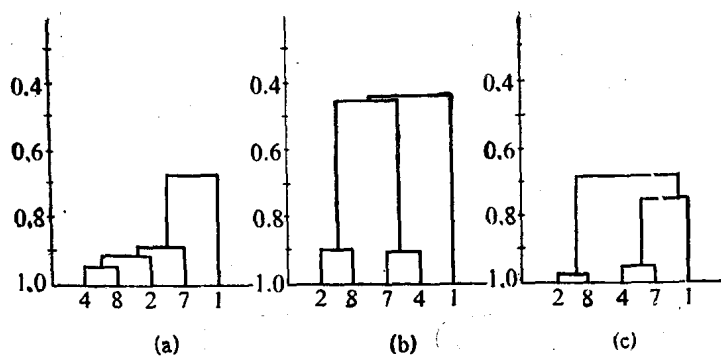


图 6 I 剖面 (西) 置换分析谱系图

(a) 一左置换; (b) 一互置换; (c) 一右置换

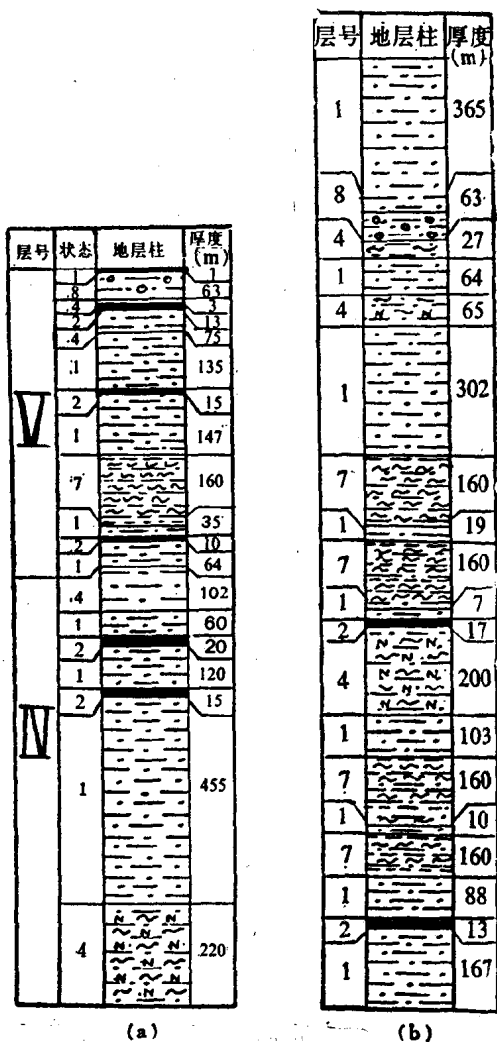
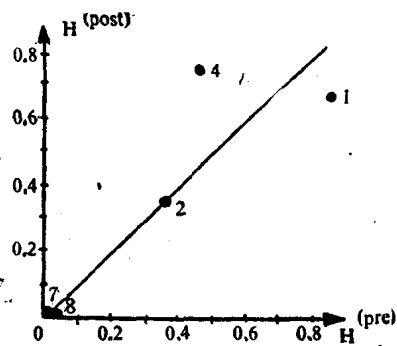
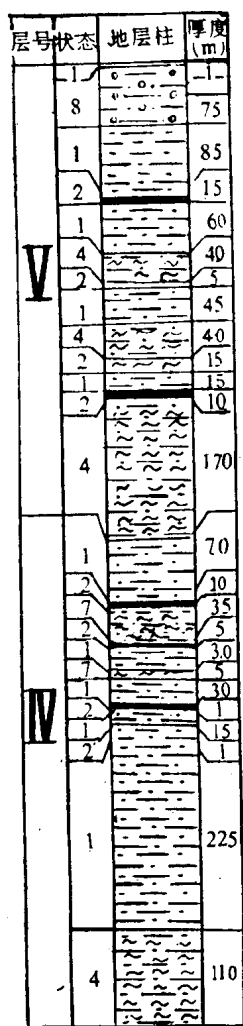


图 7 K 剖面 (西) 柱状图 (1:10000)、K 剖面 (西) 嫡相关图

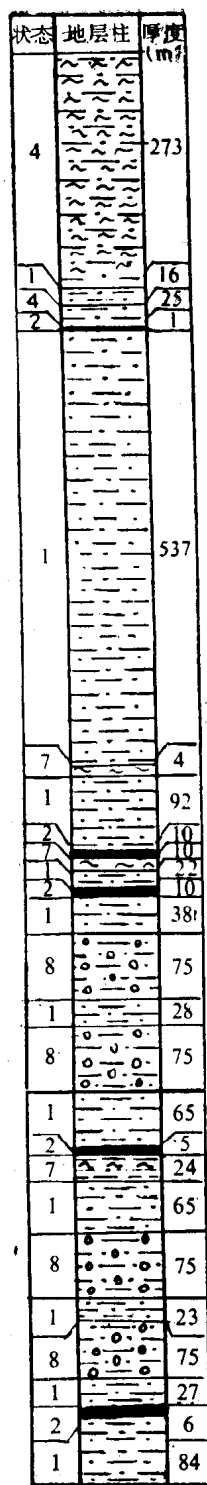
(a) 一实测; (b) 一模拟



石榴黑云片岩⑧的 $H^{(post)} = H^{(pre)} = 0$, 为上含铁岩系的确定性状态, 它与下含铁岩系转移对称性旋回有明显不同, 从模拟柱状图可看出二者的主要区别 (图7, 图8)。



(a)



(b)

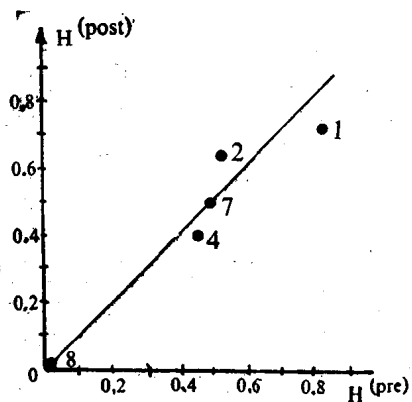


图 8 I 剖面 (西) 柱状图 (1:10000)、I 剖面 (西) 熵相关图

(a)—实测; (b)—模拟

表 3 上含铁岩系及层V铁矿量换分析表

方 法		左 置 换 分 析								右 置 换 分 析								互 置 换 分 析							
		状 态																							
层 号	剖 面	(1)	(2)	(4)	(5)	(9)	(7)	(8)	(1)	(2)	(4)	(5)	(9)	(7)	(8)	(1)	(2)	(4)	(5)	(9)	(7)	(8)			
层 V 铁 矿	(1)	1	0.535	0.300	0	0.169	0.436	0.267	1	0	0.566	0	0.424	0.365	0.285	1	0	0.175	0	0.092	0.159	0.069			
	(2)		1	0	0	0.316	0	0		1	0	0	0	0	0		1	0	0	0	0				
	(4)			1	0	0.365	0.943	0.289			1	0.316	0	0.258	0.365			1	0	0	0.243	0.105			
	(5)				1	0	0	0				1	0	0.816	0.577				1	0	0	0			
	(9)					1	0.516	0.632					1	0	0.548					1	0	0.346			
	(7)						1	0.408						1	0.471					1	0.192				
	(8)							1							1						1				
土 含 铁 岩 系	I 剖 面 (西)	状态	(1)	(2)	(4)	(7)	(8)		(1)	(2)	(4)	(7)	(8)			(1)	(2)	(4)	(7)	(8)					
	(1)	1	0.088	0.304	0.629	0			1	0.108	0.745	0.589	0			1	0.009	0.226	0.40	0					
	(2)		1	0.860	0.645	0.913				1	0.435	0.683	0.973				1	0.377	0.444	0.889					
	(4)			1	0.894	0.949					1	0.949	0.447					1	0.849	0.424					
	(7)					0.707						1	0.707						1	0.500					
	(8)					1							1							1					
K 剖 面 (西)	(1)	1	0.106	0.356	0	0			1	0.103	0.381	0	0.426			1	0.011	0.136	0	0					
	(2)		1	0.792	0.970	0.970				1	0.868	0.970	0.243				1	0.687	0.941	0.235					
	(4)			1	0.816	0.816					1	0.894	0					1	0.730	0					
	(7)				1	1.000						1	0						1	0					
	(8)					1							1							1					

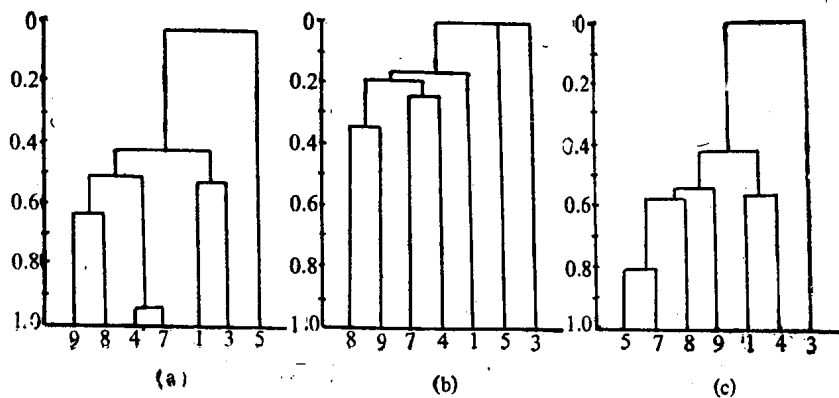


图 9 V剖面层V铁矿置换分析谱系图

(a)一左置换; (b)一互置换; (c)一右置换

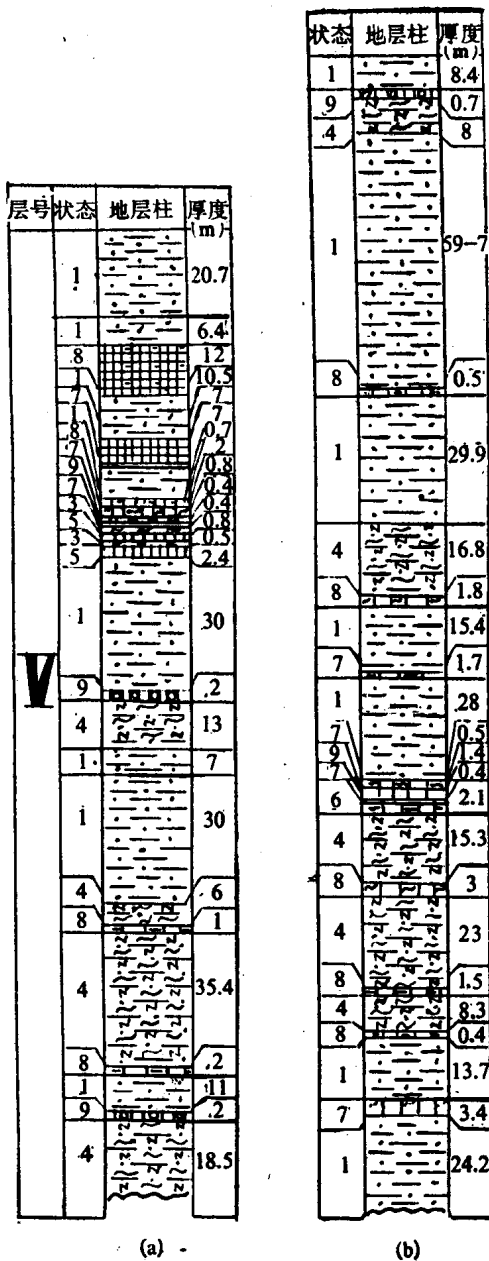
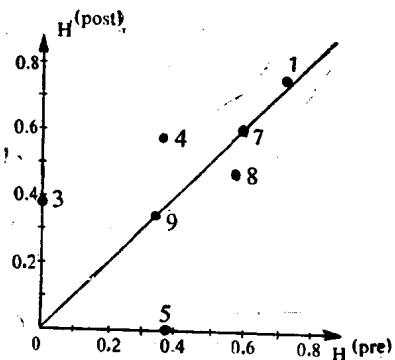


图 10 V剖面层V铁矿柱状图 (1:2000)、V剖面层V铁矿熵相关图

(a)一实测; (b)一模拟



上含铁岩系的层V铁矿主要特征（如V剖面）：第一点，辉石磁铁石英岩（8）、片麻状磁铁石英岩（7）和石榴磁铁石英岩（9）极限概率比较相近，它们分别为0.176、0.135和0.114。围岩夹层是黑云变粒岩（1）和紫苏麻粒岩（4），其极限概率为0.243和0.137。第二点，从层II和层V铁矿的极限概率来看，明显的区别在于，层II矿石为条带状磁铁石英（5）、条带状辉石磁铁石英岩（6）；层V为含辉石磁铁石英岩（8）、片麻状磁铁石英岩（7）、石榴磁铁石英岩（9）。层II围岩主要为黑云变粒岩、浅粒岩，层V为黑云变粒岩、紫苏麻粒岩（图10柱状图）。

表 4 焓 值 表

层号	剖面	H(pre)	状 态	岩 性	H(post)
上 含 铁 岩 系	V 剖面 层V 铁矿	0.742	(1)	黑云变粒岩	0.744
		0	(3)	浅粒岩	0.384
		0.355	(4)	紫苏麻粒岩	0.580
		0.387	(5)	斜长角闪岩	0
		0.355	(9)	石榴磁铁石英岩	0.355
		0.613	(7)	片麻状磁铁石英岩	0.613
		0.580	(8)	含辉石磁铁石英岩	0.387
	I 剖 面	0.843	(1)	黑云变粒岩	0.723
		0.531	(2)	条带状磁铁石英岩	0.649
		0.459	(4)	紫苏麻粒岩	0.406
		0.500	(7)	暗色麻粒岩	0.500
		0	(8)	石榴黑云片麻岩	0
	K 剖 面	0.875	(1)	黑云变粒岩	0.689
		0.361	(2)	条带状磁铁石英岩	0.361
		0.459	(4)	紫苏麻粒岩	0.750
		0	(7)	暗色麻粒岩	0
		0	(8)	石榴黑云片麻岩	0
下 含 铁 岩 系	V 剖面 层II 铁矿	0.382	(1)	黑云变粒岩	0.382
		0.773	(3)	浅粒岩	0.773
		0.500	(4)	紫苏麻粒岩	0.500
		0.850	(5)	条带状磁铁石英岩	0.850
		0.485	(6)	条带状辉石磁铁石英岩	0.495
	G 剖 面	0.853	(1)	黑云变粒岩	0.853
		0.349	(2)	条带状磁铁石英岩	0.349
		0.828	(4)	紫苏麻粒岩	0.590
		0	(5)	斜长角闪岩	0.395
		0.590	(7)	暗色麻粒岩	0.590
		0	(8)	石榴黑云片麻岩	0
	综 合 剖 面	0.845	(1)	黑云变粒岩	0.950
		0.677	(2)	条带状磁铁石英岩	0.599
		0.387	(3)	浅粒岩	0.387
		0.789	(4)	紫苏麻粒岩	0.577
		0	(5)	斜长角闪岩	0.314
		0.484	(7)	暗色麻粒岩	0.564
全 区		0.530	(8)	石榴黑云片麻岩	0.387

从置换分析结果(如图9,表3)可见,左置换分析条带状磁铁石英岩(5)所对应的行或列相似性系数为零,说明它是相当确定性状态。右置换分析浅粒岩也具有同样的特征,说明它是确定性的旋回底板。从谱系图看条带状磁铁石英岩与紫苏麻粒岩有明显的区别,与层Ⅱ铁矿相似性特点完全不同。从左置换、右置换、互置换分析谱系图来看,条带状磁铁石英岩和石榴磁铁石英岩之间相似性系数较低,相似性差。层Ⅴ模拟的地层柱具有转移不对称的下截尾的旋回,明显地区别于下含铁岩系的层Ⅱ铁矿对称旋回(图9,图10)。

熵分析:(1)如Ⅴ剖面层Ⅴ铁矿(图10,表4)熵值特征 $H^{(post)}$ 和 $H^{(pre)}$,除石榴磁铁石英岩(9)和片麻状磁铁石英岩(7)以外都不相等,说明转移非对称旋回的铁矿与层Ⅱ转移对称旋回有显著区别。条带状磁铁石英岩(5) $H^{(post)}=0$,表明条带状磁铁石英岩为一个确定性状态,由旋回上边的岩层代替。(2)各种围岩的熵值 $H^{(post)}>H^{(pre)}$,说明状态对上覆岩性的依赖性比下伏岩性的依赖性更强一些。浅粒岩 $H^{(post)}=0$,表明浅粒岩为确定性状态,由旋回下边的岩层代替(图10)。

三、结 论

综上所述,结合全区综合地层柱状图,对该区上、下含铁变质岩系和层Ⅱ与层Ⅴ铁矿对比及划分的主要意见如下:

1. 岩石状态的极限概率

全区各状态的极限概率最大者为黑云变粒岩0.363,而浅粒岩和斜长角闪岩极限概率最小,构成围岩夹层。极限概率较大者有磁铁石英0.140、紫苏麻粒岩0.200、暗色麻粒岩0.105、石榴黑云片麻岩0.088。其中,下含铁岩系由条带状磁铁石英岩—紫苏麻粒岩—暗色麻粒岩组成。下含铁岩系的层Ⅱ铁矿矿石类型主要是条带状磁铁石英岩及条带状辉石磁铁石英岩,分布于西矿带。

上含铁岩系由片麻状磁铁石英岩—石榴黑云片麻岩—紫苏麻粒岩—暗色麻粒岩组成。上含铁岩系的层Ⅴ铁矿,矿石类型以片麻状磁铁石英岩、石榴磁铁石英岩、辉石磁铁石英岩为主(图11:综合柱状图),分布于东矿带。

2. 岩石状态的相似系数

根据综合柱状图置换分析,可把全区各状态相似系数在大于0.75以上的,如条带状磁铁石英岩、紫苏麻粒岩、暗色麻粒岩、斜长角闪岩,视为显著相关。层Ⅱ铁矿的矿石类型:条带状磁铁石英岩、条带状辉石磁铁石英岩,亦为显著相关。

上含铁变质岩系的相变特点:片麻状磁铁石英岩,石榴黑云片麻岩、紫苏麻粒岩、暗色麻粒岩之间显著相关;矿石类型之间条带状磁铁石英岩与石榴磁铁石英岩相似性小,差别大,相对确定(图12,表5)。

3. 熵值分析

根据熵分析的性质,从全区综合地层柱状图上看,条带状磁铁石英岩、紫苏麻粒岩、暗色麻粒岩、石榴黑云片麻岩,它们的 $H^{(post)} \approx H^{(pre)}$,但比较接近。其中,下含铁岩系及层Ⅱ铁矿的 $H^{(post)} = H^{(pre)}$,属于典型转移对称旋回。上含铁岩系及层Ⅴ铁矿的熵值 $H^{(post)} \approx H^{(pre)}$,属于典型转移非对称旋回。全区黑云变粒岩熵值最大,不确定性也大。浅粒岩 $H^{(post)} = H^{(pre)}$,反映出它在各次旋回中都属于转移对称特点(图12)。

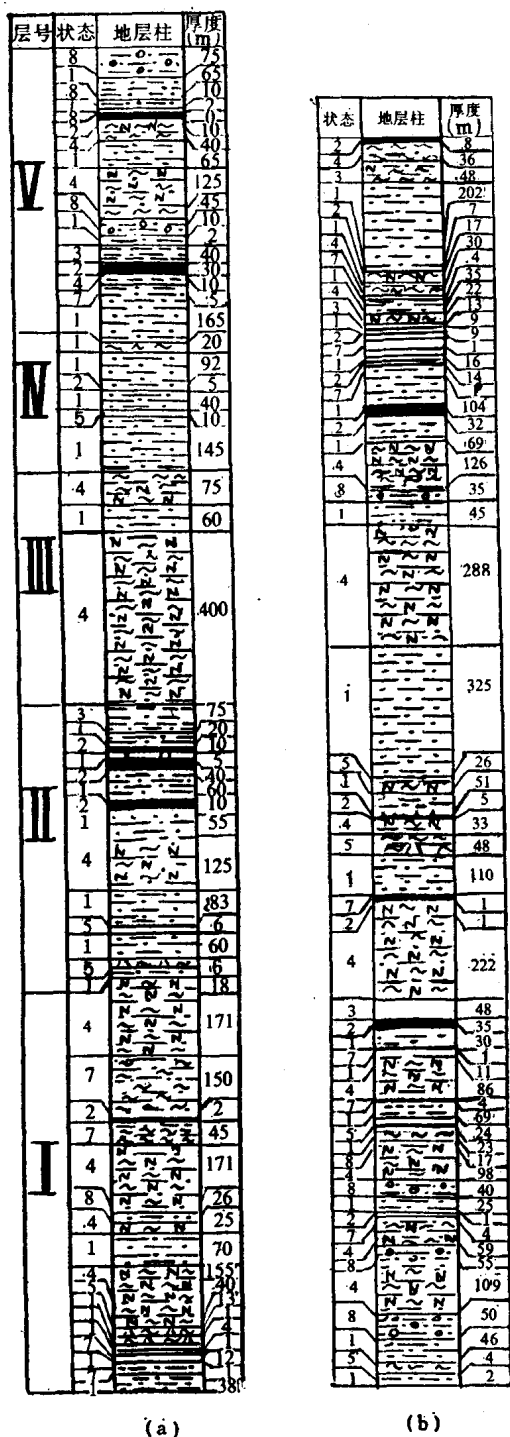


图 11 综合地层柱状图 (1:20000)、综合地层熵相关图

(a)一实测；(b)一模拟

总之，东矿带的上含铁岩系与西矿带的下含铁岩系并非同一层位，而应属于上、下层序关系。层V与层II铁矿也分别属于上、下两层铁矿。按此观点对该区进一步矿产预测及构造研究可提供有益的资料。