

大红山式铜铁矿床地球化学找矿模型研究*

魏 民 姚永慧

(地质矿产部矿产资源定量预测及勘查评价开放研究实验室, 武汉 430074)

摘 要 云南大红山铜铁矿床为一赋存于古元古代大红山群火山沉积地层的超大型矿床。为加深已知典型矿床的研究程度, 并有效地指导新区的找矿工作, 在系统的原生晕采样基础上, 通过不同的方法建立了多种形式的地球化学找矿模型: 地球化学背景与异常的概率筛分模型、因子分析及元素组合模型、最优分割法及水平分带模型、标准化丰度法及轴向分带模型, 以及多标高联合曲线法及主矿元素 Cu 的立体变化模型等。用上述模型, 配合地质物探综合研究, 在实践中已取得显著找矿效果。

关键词 地球化学找矿模型, 水平分带, 轴向分带, 立体变化模型, 超大型矿床, 云南大红山铜铁矿床。

中图法分类号 P618.41, P628

第一作者简介 魏民, 男, 教授, 1940年生, 1967年于北京地质学院毕业, 1981年获硕士学位, 主要从事矿产勘查、成矿预测及数学地质的科研和教学工作。

1 大红山式铜铁矿床地质概念模型

大红山式铜铁矿床赋存于古元古代大红山群曼

一套基性火山岩(图1)。与铜矿关系密切者为基性火山岩, 与铁矿关系密切者为中基性火山岩。因受晚期钠化的影响, 火山岩富 Na。大红山式铜铁矿床属

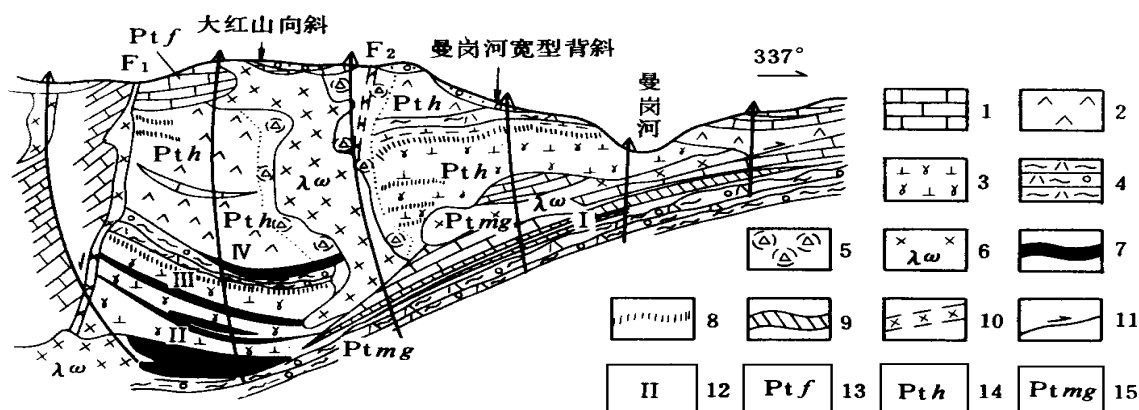


图1 大红山矿区 32 勘探线剖面(据文献[1]修编)

Fig. 1 The exploratory profile of the line 32 in Dahongshan ore district

1. 白云石大理岩; 2. 基性火山岩; 3. 中性火山岩; 4. 石榴绿泥片岩; 5. 退化变质带; 6. 基性岩体; 7. 富铁矿体; 8. 贫铁矿体; 9. 铜矿体; 10. 斜冲断层; 11. 层间逆断层; 12. 矿段编号; 13. 肥味河组; 14. 红山组; 15. 曼岗河组

岗河组和红山组火山沉积地层中。铁矿与次火山岩机构有关, 铜矿主要赋存在火山喷发间歇期的凝灰岩和沉凝灰岩中。成矿建造为浅海火山喷发形成的

海底火山喷发矿床, 其成矿作用比较复杂, 包括火山喷溢分凝、火山沉积、火山热液及后期叠加改造等多种成矿方式。作为超大型矿床其独特成因受控于东西向基底同生断裂, 后者规模巨大, 长达 18 km, 形成巨大的火山堆积, 加之晚期次火山岩体形成上部封闭, 造成矿源丰富、环境封闭的极为有利的成矿条

1997年11月29日收稿。

*地质矿产部矿产资源定量预测与勘查评价开放研究实验室资助。

表 1 大红山矿区曼岗河剖面微量元素质量分数表

Table 1 Microelement mass fractions on Manganghe profile in Dahongshan ore district

样号	w _B / %			w _B / 10 ⁻⁶							w _B / · 10 ⁻⁹		
	K ₂ O	Na ₂ O	TFe ₂ O ₃	Zn	Ti	Pb	Ni	Cu	Cr	Co	Ba	Ag	Au
37 - 2	3.42	2.55	12.06	59.0	12 498	13.7	63.0	11.0	161	58.6	983		
37 - 1	0.01	4.00	5.80	17.8	4 015	7.7	23.8	11.6	449	18.0	23		
36	2.84	1.92	17.25	18.7	18 667	11.4	19.0	4.4	319	154.0	467		
35	1.00	0.91	20.20	107.0	17 579	8.0	14.7	9.1	275	127.0	295		
34	3.35	1.00	16.02	63.5	14 103	14.0	27.5	384.0	326	94.2	246		
33	0.33	5.44	21.38	25.9	20 679	4.5	21.8	10.7	135	119.0	77		
32	1.73	2.39	10.58	87.1	7 456	13.3	36.7	127.0	1 161	41.4	178		
31	1.74	1.36	8.82	16.8	4 229	14.1	28.2	10.4	2 073	30.2	232		
30	1.67	0.43	6.54	11.2	2 439	17.7	21.8	10.2	854	25.4	180		
10	0.81	5.60	9.63	58.2	9 327	14.1	155.0	8.3	74	56.4	97		
9 - 2	0.50	1.56	8.45	37.1	3 337	9.5	70.6	22.3	539	40.1	229		
9 - 1	2.73	1.33	20.74	28.2	3 372	13.9	23.0	558.0	223	182.0	327		
8	0.85	5.12	9.63	22.9	11 724	3.2	89.4	39.1	161	37.0	223		
7	0.55	0.03	8.69	36.8	1 146	15.3	11.1	21.7	1 124	37.1	29		
6	2.13	0.24	7.73	4 853.0	2 819	842.0	18.5	38.0	1 520	72.4	594	0.52	0.026
5	0.29	5.52	5.97	9.0	9 877	5.2	14.8	6.2	43	11.0	87	0.04	0.004
4	0.08	5.84	19.62	28.8	17 995	3.0	31.5	3.4	50	115.0	101	0.04	0.009
3	0.06	5.25	7.46	12.7	6 230	3.9	49.6	6.8	136	20.9	28	0.05	0.011
2	0.05	7.65	15.03	20.0	20 600	30.7	29.8	8.1	160	54.8	98	0.02	0.005
1	0.30	3.89	8.58	31.8	7 519	14.0	114.0	13.3	164	28.5	135	0.03	0.002
25	0.03	8.18	0.53	5.1	30 776	137.0	6.3	5.1	61	6.0	122	0.09	0.009
24	0.16	5.69	13.09	215.0	13 353	9.3	132.0	57.6	121	72.6	96	0.02	0.011
23	0.31	3.86	11.08	202.0	12 949	5.9	137.0	13.3	249	56.8	141	0.03	0.009
22	0.75	4.54	11.90	78.9	15 070	5.3	145.0	355.0	237	60.8	126	0.19	0.013
21	0.13	1.32	7.10	173.0	4 224	33.1	71.5	53.5	251	40.8	58	0.20	0.008
20	0.60	0.21	7.80	1 062.0	513	17.2	46.0	106.0	1 740	30.2	118	0.17	0.009
19	0.60	3.99	8.51	21.9	3 218	9.7	28.7	137.0	2 028	27.1	103	0.13	0.006
18	0.52	0.42	4.20	20.9	1 071	15.8	8.9	594.0	307	18.6	129	0.06	0.017
17	1.04	4.41	17.60	27.6	12 895	7.1	32.5	159.0	374	89.8	190	0.04	0.026
16	0.34	3.78	10.26	91.7	9 735	12.8	119	26.2	101	53.7	167	0.01	0.011
15	0.37	2.18	12.77	78.5	8 631	12.9	197	2.9	725	123	257	0.03	0.007
14	0.02	9.15	14.38	14.1	14 858	15.6	11	6.5	61	33.8	63		
13	0.11	5.99	9.0	256	9 198	9.1	311	14.8	637	48	63		
12	0.53	7.04	11.58	16.8	9 716	12.2	73.2	1 182	362	44.4	133		
11	0.05	4.48	10.54	43.8	9 544	12.9	138	9.2	114	41.3	102		

件,故得以生成超大型铜铁矿床. 矿石类型铁矿以磁铁矿为主,铜矿主要为含黄铜磁铁矿硅质板岩、含黄铜磁铁矿黑云片岩、含黄铜磁铁矿石榴变钠质凝灰岩和含黄铜磁铁矿白云石大理岩,伴生少量 Au, Ag, Co^[2,3].

为加深已知典型矿床的研究程度,并有效地指导新区(元江撮科地区)的找矿工作,我们选择大红山矿床第 32 勘探线主干剖面进行了系统的原生晕采样和测试. Au, Ag 采用石墨炉原子吸收法(仪器为日立 180 - 70 型原子吸收分光光度计),其他微量元素采用西门子 X 射线荧光仪进行定量分析. 通过不同方法的数据处理,建立了多种形式的地球化学

找矿模型:地球化学背景与异常的概率筛分模型、R 型因子分析及元素组合模型、多元素最优分割法及地球化学水平分带模型、标准化丰度法及地球化学轴向分带模型,以及多标高联合曲线法及主矿元素 Cu 的立体变化模型等^[4~6].

2 地球化学背景与异常的概率筛分模型——混合总体概率图筛分法

2.1 岩石微量元素丰度及统计特征

作者分别测试了典型矿床大红山以及预测区岔

表 2 岩石微量元素地球化学特征

Table 2 The geochemical characteristics of microelements in various rocks

矿区	元素	背景均值 / 10^{-6}	标准差	变化系数	有效样品数 /总样品数
大红山矿区	Zn	55.244	264.608	0.482	16/35
	Pb	10.719	4.355	0.406	31/35
	Ni	21.558	8.743	0.406	19/35
	Cu	10.705	6.106	0.570	21/35
	Cr	186.088	103.194	0.555	24/35
	Co	39.478	17.533	0.444	27/35
	Ba	127.807	65.524	0.513	30/35
岔河矿段	Cu	17.5	4.5	0.25	6/16
	Pb	8.0	3.3	0.42	12/16
	Zn	14.0	5.0	0.35	8/16
	Co	20.0	16.0	0.80	15/16
	Cr	28.8	15.8	0.55	8/16
	Ni	14.5	6.2	0.42	8/16
	Ba	375.5	275.0	0.73	12/16
阿部都矿段	Be	1.029	0.627	0.609	24/28
	Cu	2.650	1.424	0.538	20/28
	Pb	10.750	6.878	0.640	24/28
	Sn	1.526	0.979	0.641	19/28
	Cr	54.583	32.701	0.599	24/28
	Ni	14.105	9.683	0.687	19/28
	Co	16.500	11.968	0.725	28/28

大红山微量元素的质量分数列于表 1. 为查明各元素的地球化学丰度值,采用专门程序剔除蚀变矿化样品,在筛选出有效样品基础上计算各元素的背景均值、标准差及变化系数,结果列于表 2.

2.2 大红山矿区主矿元素 Cu 的地球化学背景与异常的筛分

为了查明指示元素的背景与异常,采用概率图筛分方法,从观测混合总体中分解出背景与异常的值域区间,并确定矿致异常的下限值.大红山矿区成矿元素 Cu 的混合总体概率筛分如图 2 所示.筛分结果表明,成分总体 A 代表地球化学背景,其均值为 11×10^{-6} ,约占 78 %的比例;成分总体 B 代表异常总体,其均值为 340×10^{-6} ,约占 22 %的比例.二者分界点为 80×10^{-6} ,而概率 90 %的背景可信区间为 $3.5 \times 10^{-6} \sim 36 \times 10^{-6}$,异常区间为 $120 \times 10^{-6} \sim 950 \times 10^{-6}$,即矿致异常下限值为 120×10^{-6} .

3 地球化学元素组合模型——因子结构分析法

为了查明元素组合、揭示成因信息,对岩石微量元素进行了因子分析^[4].因子结构反映了元素组合、成因期次及其在成矿演化过程中的重要程度,后者即各因子的方差贡献.大红山矿区岩石微量元素因子结构特征列于表 3(岔河矿段和阿部都矿段微量元素正交因子载荷矩阵略).它们有如下特征:(1) Cu(-Au)均为独立因子 F_4 ,其方差贡献百分比,大红山矿区为 10.4 %,撮科矿区岔河矿段为 6.6 %,阿部都矿段为 7.4 %.阿部都矿段 Cu 的方差贡献略低于大红山,而大于岔河,从而显示了阿部都矿段良好的找铜前景.(2) Pb - Zn 为同一元素组合,它不与 Cu 共生.(3) Au 矿化分两期,一期以因子 F_1 为代表,与 Pb,Zn 共生;另一期以因子 F_4 为代表,与 Cu 共生.(4) Ni - Cr - Co 在岔河和撮科为同一因子,代表基性火山岩成因.在大红山矿区 Ni - Co - Fe 为同一因子,与成矿关系密切,而 Cr 为一单独因子,不与 Ni 共生.

4 地球化学水平分带模型 多元元素最优分割法

在大红山矿区曼岗河剖面曼岗河组和红山组,

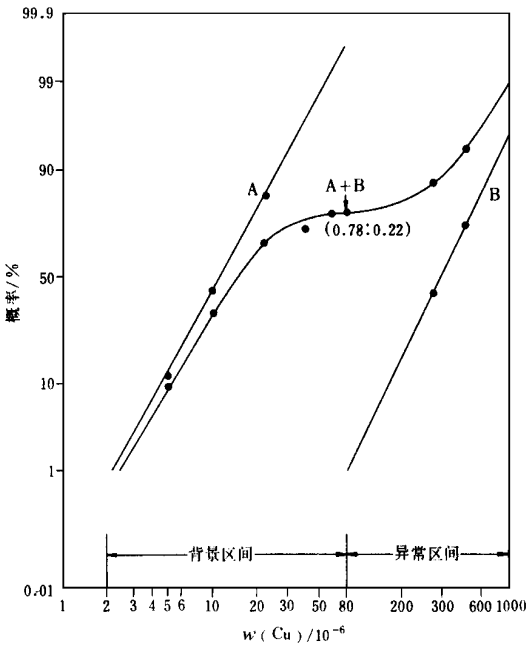


图 2 大红山矿区地表 Cu 原生晕概率筛分图

Fig. 2 The probability sieve graph of surface primary halo in Dahongshan ore district

河和阿部都矿段的岩石微量元素的质量分数,其中

表 4 大红山矿区地球化学水平分带元素丰度对比

Table 4 Correlation of element abundance between geochemical inner zone and outer zone in Dahongshan ore district													
元素	Cu	Ni	Ti	Na	Zn	Pb	TFe ₂ O ₃	Cr	Co	K	Ba	Au	Ag
外带	137.99	84.84	10 898	4.67	120.48	18.63	10.57	396	48.8	0.317	115.9	0.01	0.03
内带	84.38	41.60	8 892	2.25	362.88	66.82	12.43	626	72.8	1.557	278.7	0.03	0.52

表中单位:Fe,Na,K为10⁻²,Au为10⁻⁹,其余为10⁻⁶.

表 3 大红山矿区岩石微量元素正交因子载荷矩阵

Table 3 The matrix of perpendicular factor load of rock microelements in Dahongshan ore district

元素	F ₁	F ₂	F ₃	F ₄
K ₂ O	0.894 4	0.094 9	- 0.310 5	0.307 6
Na ₂ O	- 0.319 2	- 0.033 9	0.915 1	- 0.243 9
TFe ₂ O ₃	- 0.061 2	0.966 7	0.235 1	0.080 0
Zn	0.970 5	- 0.047 1	- 0.230 1	- 0.054 8
Ti	- 0.113 7	0.075 8	0.978 3	- 0.156 1
Pb	0.990 6	- 0.117 1	- 0.048 0	- 0.052 1
Ni	- 0.343 4	0.793 7	- 0.337 5	- 0.371 8
Cu	- 0.139 3	- 0.154 9	- 0.306 8	0.928 7
Cr	0.564 3	- 0.154 4	- 0.803 2	- 0.111 9
Co	0.218 7	0.973 6	0.065 3	- 0.000 7
Ba	0.962 3	0.208 4	- 0.174 8	0.006 8
Au	0.693 3	0.188 1	0.022 3	0.695 3
Ag	0.924 9	- 0.198 8	- 0.322 3	0.034 9
方差贡献比	0.45	0.18	0.13	0.10
元素组合	Pb - Zn - Au - Ag - K - Ba	Fe - Ni - Co	Na - Ti	Cu - Au

系统采集了 35 个岩样,定量测试了 Cu,Pb,Zn 等 13 种元素的质量分数(表 1).据图 2 筛分结果,图中 80 ×10⁻⁶水平线为背景上限值.根据 13 种元素的有序聚类分析,最优二分割的分割点为 6 号样品,据此可将原生晕分为内外两带.各带的微量元素质量分数列于表 4.从表 4 可以看出,外带的典型元素组合为 Cu - Ni,Na - Ti,而内带则正好相反,其典型元素组合为 Pb - Zn,Cr - Co - Fe,Au - Ag.

5 地球化学轴向分带模型 标准化丰度法

建立地球化学轴向分带模型,首要任务是沿矿体垂直延伸方向在其周围进行系统的采样,因此我们面临的问题是:(1)众多的元素;(2)不同的量纲;(3)各元素的垂向变化;(4)各元素的横向比较;(5)典型元素的查明和(6)轴向分带的划分.为解决不同量纲和数量级差异悬殊的多元素的纵向和横向对比的困难,本次研究采用了标准化变换方法.元素标准

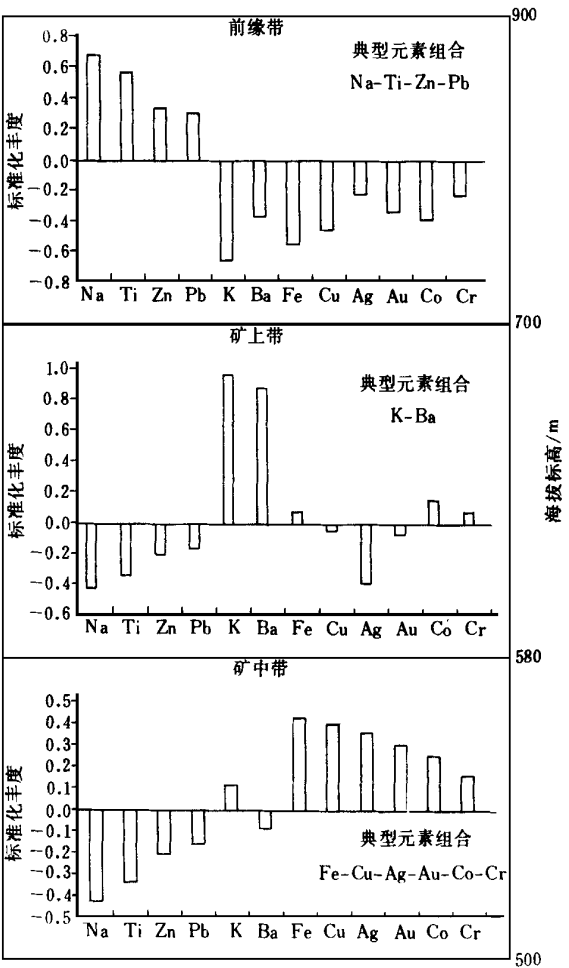


图 3 云南大红山铜矿地球化学轴向分带模型
Fig. 3 The geochemical axial zoning model of Dahongshan copper deposit

化变换的数学模型为
$$X_{ij} = (X_{ij} - \bar{X}_j) / S_j$$

式中: X_{ij} 为*i*样品*j*元素的原始观测值; X_{ij} 为*i*样品*j*元素的标准值; \bar{X}_j 为*j*元素的平均质量分数; S_j 为*j*元素的质量分数变化标准差.
经过标准化变换以后, X_{ij} 的平均值为 0,标准差为 1.大于平均值的为正数,小于平均值的为负数,从而达到了多元素统一量纲和数据水平的目的.在此基础上再考查不同标高的元素丰度变化,就可

表 5 各带指示元素实际丰度值

Table 5 The real abundance of indicator elements in various geochemical zones

原生晕	Na	Ti	Zn	Pb	K	Ba	Fe	Cu	Ag	Au	Co	Cr
前缘带	3.94	10 440	67.79	68.52	0.46	150	9.95	93.0	0.098	0.011	52.0	486.0
矿上带	1.46	5 091	15.51	10.80	2.34	662	14.56	1 364.0	0.076	0.064	85.0	627.0
矿中带	1.52	5 080	20.92	5.94	1.35	265	17.16	2 751.0	0.176	0.083	92.0	667.0

注:表中单位同表 4.

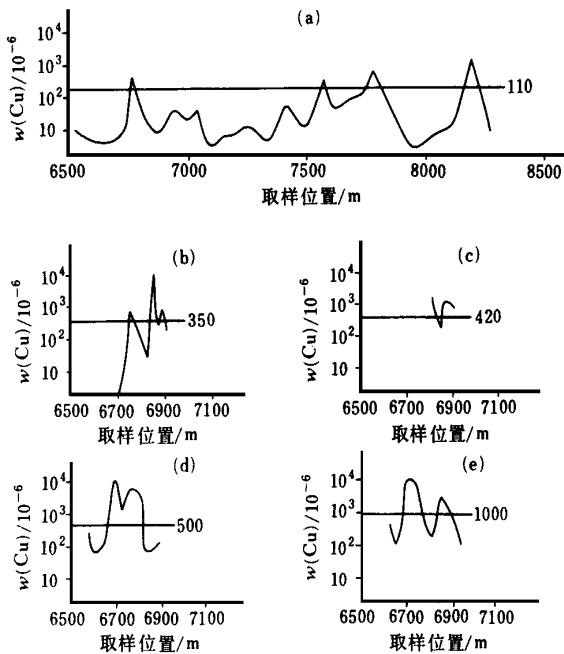


图 4 大红山矿区 32 勘探线 Cu 原生晕联合变化曲线
Fig. 4 The united variation curves of Cu primary halo on exploration line 32 in Dahongshan ore district
a. 曼岗河剖面下约 800 m; b, c, d, e. 32 勘探线在井下标高 600 m, 575 m, 550 m, 535 m

以很方便地查明各水平中段的典型元素组合(相对高的正值元素).在此基础上将具有相同元素组合的划分为同一带,不同元素组合的划分为另一带.

根据不同标高元素标准化丰度及元素组合可将大红山铁铜矿床原生晕分为前缘带、矿上带和矿中带(图 3),矿下带未揭露.各带指示元素实际丰度值列于表 5.

6 地球化学立体找矿模型——多标高联合变化曲线法

为了反映不同深度及顶底方向成矿指示元素的变化特征,以便建立立体的地球化学找矿模型,对野外采样工作进行了系统规划.根据大红山矿区具

体条件,大致沿着 32 勘探线在井下 535 m,550 m,575 m,600 m 中段,以及地表曼岗河剖面(约 800 m)5 个不同水平标高,系统采集了 85 个岩样进行定量分析测试,据此研究地球化学立体找矿模型.图 4 给出了 Cu 原生晕在不同深度、沿顶底方向的联合变化曲线.该模型明显反映出 Cu 丰度变化的规律性:即在垂直方向上 Cu 的丰度自上而下逐步增高,5 个水平标高的均值分别为 110×10^{-6} , 350×10^{-6} , 420×10^{-6} , 500×10^{-6} , $1\,000 \times 10^{-6}$;在水平方向上矿体部位最高,向顶底两侧呈现逐步降低的趋势.

7 结语

本文提供了大红山超大型铜矿系统的原生晕新资料,运用 5 种数学地质方法,建立了 5 种不同形式的地球化学模型,它们具有多方面的预测找矿意义.在国家计委和地矿部找矿专项“元江地区铜铁金矿床找矿预测”项目中,上述地球化学找矿模型配合地质物探综合研究,已取得显著找矿成效,预测了阿都矿段新找矿靶区,并经项目办批准正准备上钻验证.

衷心感谢项目组的领导和同仁赵鹏大、吕世琨、罗君烈、孙克祥、刘永锡高工,章传玲、徐启东副教授,中国地质大学测试中心汤中道高工,以及本教研室李建威博士,他们分别在研究思路、资料提供、测试分析、野外工作,以及外文校对等方面给予作者大力帮助.

参 考 文 献

1 孙克祥,沈远仁,刘国庆等.滇中元古宙铁铜矿床.武汉:中国地质大学出版社,1991. 40~48, 76~86, 158~163
2 钱锦和,沈远仁.云南大红山古火山岩铁铜矿床.北京:地质出版社,1990. 150~187
3 罗君烈.云南元古代与火山活动有关的铁铜矿床成矿模式.云南地质,1995, 14(4): 281~290
4 朱裕生,肖克炎,丁鹏飞等.成矿预测方法.北京:地质出

- 版社,1997. 69~94
- 5 魏民. 新疆喀拉通克铜镍矿区矿体数学特征及隐伏矿体预测. 地球科学——中国地质大学学报,1990, 15(5): 555~563
- 6 赵鹏大,周有武,魏民等. 金矿化变异的数学地质研究. 武汉:中国地质大学出版社,1992. 50~54
- 7 赵鹏大,胡旺亮,李紫金. 矿床统计预测. 第二版. 北京:地质出版社,1994. 17~43

GEOCHEMICAL ORE - FINDING MODEL FOR DAHONGSHAN - TYPE Cu - Fe DEPOSIT

Wei Min Yao Yonghui

(The Open Laboratory of Quantitative Prediction and
Exploration Assessment of Mineral Resources, M GMR, Wuhan 430074)

Abstract The Dahongshan super - larged Cu - Fe deposit in Yunnan Province occurred in volcano - sedimentary strata of Danhongshan Group of Paleoproterozoic era. To deepen the study of known typical deposit and effectively guide ore - finding, based on systematic sampling and quantitative analysis, various geochemical ore - finding models with different data processing methods are established. They are: the probability sieve model of geochemical background and anomaly, the factor analysis and elements assembling model, the multi-element optimization dividing and horizontal zoning model, the standardization abundance method and axial zoning model, and the multilevel united curves method and tridimensional variation model.

Key words geochemical ore - finding model, horizontal zoning, axial zoning, tridimensional variation model, super - larged deposit, Dahongshan Cu - Fe deposit in Yunnan Province.

* * * * *

《地球科学——中国地质大学学报》

1998 年 第 23 卷 第 3 期 要目预告

赣东北早侏罗世林山植物群	黄其胜	卢宗盛
大别山高压超高压变质期后伸展构造格局	钟增球	索书田
华北克拉通古元古代区域构造格架及其板块构造演化探讨	李江海	钱祥麟
北淮阳马畈加里东岩体的研究及其地质意义	杨坤光	马昌前
青藏高原中部岩石圈结构及地球动力学的天然地震学研究	吕庆田	姜 枚
液压模拟实验仪数据自动采集系统及其软件设计	龚元明	曾佐勋
氢氧镁铝石的高分辨透射电镜观察	秦 善	曹正民
江西德兴银山火山岩 - 次火山岩带岩浆房初步研究	叶 松	莫宣学
浙西金鸡岩金矿控矿因素与成矿机理研究	杜杨松	江云华
银山多金属矿床成矿分带的流体动力学计算模拟	张德会	於崇文
复杂条件下的回剥反演方法——最大深度法	毛小平	李绍虎
论油气藏流体动力系统	康永尚	郭黔杰
黄骅坳陷中生代构造反转分析	汪泽成	刘和甫