

# 利用岩石化学成分预测岩浆型铜镍(铂)矿 方法的提高和改进\*

## Selection of geochemical parameters by computers to constructing petrochemical method which uses to prognosating the magmatic differentiation Cu-Ni-(PGE) sulfide deposits

张文宽, 尹国龙, 徐洪恩, 杨本锦

(四川省地矿局 403 地质队, 四川 峨眉山 614200)

ZHANG WenKuan, YIN GuoLong, XU HongEn and YANG BenJin

(No.403 geological team, bureau of geology and mineral resources of Sichuan Province, Emeishan 614200, Sichuan, China)

**摘要** 在地质成矿规律研究的基础上, 利用电脑对国内外代表性的含铜镍(铂)矿基性超基性岩体岩石化学成分排列组合计算找矿参数。将含矿岩体参数与经详细地质工作证实的无矿岩体参数对比, 筛选有找矿意义参数建立《找矿决策模型》。利用该模型对会理会东地区基性超基性岩体进行预测。结果发现杨合伍、李家湾、黄土坡等值得进一步工作岩体。其认识与地质条件分析吻合。其中黄土坡是本次预测新提出的找矿靶区。

**关键词** 铜镍(铂)矿; 康滇地轴; 找矿模型; 电脑应用

利用基性超基性岩岩石化学成分预测岩浆分异型铜镍(铂)矿床, 前人进行了卓有成效的研究。在电脑进入地质工作之前, 就总结出铜镍(铂)硫化矿床产于镁铁比值(m/f)为2~6.5的铁质超基性和基性岩中, 其主要含矿岩相为二辉橄榄岩; 随着Mg/Fe比值降低, 出现单辉型含硫化铜镍铂矿体, 但含矿规模、铂族元素品位都有所降低。岩石酸碱度A/Ac比值在1.45~1.30间对成有利。A/Ac比值是造岩矿物中碱性阳离子与络阴离子之比。如橄榄石中A/Ac为Mg+Fe/Si(候德义, 1984)。地质工作使用电脑后, 又引入了判别分析、因子分析等多元统计方法(唐兴信等, 1979)。

张文宽等(1987)担任《四川省金刚石找矿计算机决策模型》专题研究时, 根据国内外已知含金刚石岩体化学成份, 利用电脑自动排列组合, 计算找矿参数。编了一个DOS版的《找矿决策模型软件》, 利用该软件对四川省352个类似金伯利岩或钾镁煌斑岩的1431件岩石化学分析成果进行预测计算。结果筛选出22个岩体具找矿线索意义。但其最高得分低于辽宁等地含金刚石岩体的最低得分。结论是四川寻找金刚石地球化学条件不利, 前景不甚乐观, 近期不宜投入过多工作。以后中澳合作在四川投入较大人力物力开展四川金刚石地质找矿工作, 历时数年, 其结论与笔者的电脑预测结论接近。

近年, 笔者在进行四川省会理会东地区(简称双会地区)硫化铜镍(铂)矿成矿预测时, 对《找矿决策模型》建设有较大改进。由于电脑计算能力增强, DOS版预测模型以岩体化学成份平均值为基础, 本次改为以样品为基础, 增强模型代表性。另外利用经较详细工作证明不含矿的岩体与含矿岩体特征值对比, 筛选有效特征值, 优化模型结构, 提高运算速度。

## 1 区域地质特征

\*第一作者简介 张文宽, 男, 1954年生, 高级工程师, 主要从事矿床地质及矿产资源方面的勘查和研究工作。E-mail: scemsxwk@163.com

双会地区位于康滇地轴中段。地史发展中是一个以上升隆起为主,振荡运动和断裂活动频繁的古陆,具地槽型变质岩系基底和地台型上叠凹陷沉积的多旋回结构。该地区经历了二次重要的地幔柱活动,即晋宁期(1 700~850 Ma)和海西期(350~250 Ma)。后者形成著名的攀西裂谷带,海西期峨眉山玄武岩及中一浅成基性-超基性岩,从地球深部地幔带来丰厚的铜镍(铂)金属矿源物质,为本区铜镍(铂)矿构成了良好的成矿地质条件。

据不完全统计,双会地区与铜镍铂矿有关的基性、超基性岩体在100个以上。已知岩浆分异型铜镍(铂)矿床有:清水河、打矿山、大岩子、核桃树、青矿山、秧田沟、力马河等。

双会地区地处谢学锦院士圈出的“川、滇、黔、桂”巨型铂钯地球化学省的主体部位。铂、钯平均值分别为 $1.39 \times 10^{-9}$ 和 $1.12 \times 10^{-9}$ (全国平均值为 $0.46 \times 10^{-9}$ 和 $0.40 \times 10^{-9}$ ),并与铜、镍、钴、铬等元素伴生,显示为有找矿前景的地球化学块。

双会地区铂和钯异常与铜镍(铂)矿床分布的吻合性较好。已知的核桃树铜镍铂矿、青矿山铜镍铂矿、秧田沟铜镍铂矿均位于异常的浓集区。另尚有牛金树南异常、通安南异常、新铺子异常、竹箐异常等具有找矿远景(骆耀南,1985)。

## 2 工作方法

(1) 收集国内外代表性含铜镍(铂)矿基性超基性岩体资料作为模型岩体,利用电脑排列组合计算其岩石化学成份,(如 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{TiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{FeO}$ 、 $\text{MnO}$ 、 $\text{MgO}$ 、 $\text{CaO}$ 、 $\text{Na}_2\text{O}$ 、 $\text{K}_2\text{O}$ )、不同组合的比值作预测参数。如 $\text{MgO}/\text{FeO}$ ; $\text{K}_2\text{O}/\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3+\text{MgO}+\text{CaO}$ 等。本次计算了单项(化学成分)、2项组合、3项组合、4项组合的比值,上千个参数作为预测依据。

(2) 统计模型岩体上述各项参数数值分布情况,取样品分布的2倍(或3倍)均方差内数值为预测成矿区间,以平均值减2倍(或3倍)均方差为预测成矿数值区间的上限,以平均值加2倍(或3倍)均方差为预测成矿数值区间的下限,构成预测模型。

(3) 对未知含矿性的待测岩体,计算与模型岩体相同的特征值,其值落入模型岩体成矿数值区间者得分,反之不得分。最后统计待测岩体得分值,按得分值大小排队,结合岩体地质特征,从高分到低分,分档筛选铜镍(铂)矿找矿靶区。

(4) 《基性超基性岩找矿决策模型》还包括了对数据的预处理,剔除离群点(特高值和特低值),利用已知不含矿岩体与含矿岩体得分对比,剔除判别岩体含矿性效果不好的比值。

(5) 对模型岩体和待测岩体作详细的地质综合分析。这步工作很重要,是预测成败的关键。

## 3 模型岩体和待测岩体

### 3.1 模型岩体

模型岩体为国内外经过较详细地质工作,资料较多,含大、中型铜镍(铂)矿床、具代表性的基性超基性岩体(刘朝基等,1986;Naldrett,2004)。利用电脑总结模型岩体岩石化学特征作为预测依据。本次工作选用的模型岩体有:阿尔丹地盾康焦尔、丹巴县杨柳坪、甘肃白家咀子、加拿大卡亨尼克、云南金宝山、金平白马寨、苏联贝辰加、苏联肯皮尔赛、云南朱布。共10个岩体185件样品(表1)。下面介绍代表性模型岩体地质特征。

#### 3.1.1 阿尔丹地盾康焦尔

岩体为较规则的圆形,直径约6 km。同心带状构造。岩体围岩为震旦系安宁组碳酸岩,接触带强烈混合岩化、蛇纹石化。矿体形态呈饼状、不规则透镜状、脉状。铂与铬尖晶石类紧密共生于纯橄榄岩中。

#### 3.1.2 丹巴县杨柳坪

杨柳坪岩体长2 400 m,宽100~200 m。正子岩窝岩体长大于1 000 m,厚250 m。其它还有台子坪、打枪

岩窝、协作坪等岩体。产状为岩床状,岩体围岩为石炭系大雪组石英岩、碳质板岩,围岩蚀变有角岩化、绿泥石化、硅化。铂矿体呈似层状、透镜状,产于下部蛇纹岩及上部滑石岩中。

### 3.1.3 甘肃白家咀子

白家咀子硫化铜镍矿床产于地台区边缘太古界深变质岩系中,与地台边缘隆起内侧深断裂系有成因关系。岩体不整合侵入于太古界白家咀子组第一段和第一、二段

之间,直接与片麻岩、大理岩、混合岩接触,呈不规则的岩墙状产出,长约 6 500 m,宽 20 m 至 527m,垂直延深最大超过 1 100 m。出露面积约 1.34 km<sup>2</sup>。岩体总的倾向南西,倾角 50~80°。白家咀子含镍岩体形态受断裂构造性质的控制,膨缩变化明显。熔离型矿体多产于岩体底部和边部,呈似层状、透镜状。贯入型矿体多位于接触带附近,呈脉状。

### 3.1.4 云南金宝山

金宝山岩体产于米拉苦短轴背斜轴部附近泥盆系板岩层间,产状为岩床状。地表出露 8 个岩体。一号岩体最大,长 680 m,厚 58~129 m,延深大于 350 m。铂矿体主要赋存于岩体核部,呈似层状、透镜状。

### 3.1.5 云南朱布

岩体赋存于前震旦纪元谋群片岩、花岗片麻岩中,围岩蚀变有角岩化、片理化,产状为岩盆状。岩体长 750 m,宽 400 m,深大于 580 m。熔离型铂矿体呈似盆状,产于岩体底部橄榄岩内;熔离-贯入型铂矿体呈透镜状,产于辉石岩相中下部。

## 3.2 待测岩体

为地质特征与含铜镍(铂)岩体类似,已获少量地质、岩石化学资料,但工作不详,其含矿性未知的岩体。如:杨合伍岩体呈饼状,规模较大,分异较好。中、浅部经地质工作未见工业矿体,深部有无较好的铜镍(铂)矿体,争议较大(表 2)。

表 1 模型岩体平均化学成分 (w<sub>B</sub> %)

岩体名称	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	m/f
阿尔丹康焦尔	38.43	0.37	1.68	5.71	9.91	0.31	33.86	5.86	0.18	0.27	0.37	5.62
丹巴县杨柳坪	44.09	1.16	8.47	2.06	8.65	0.10	18.20	8.16	1.24	0.46	0.03	3.04
甘肃白家咀子	37.78	0.35	3.78	6.57	8.86	0.15	28.72	2.40	0.48	0.22	0.11	3.51
会理幅力马河	44.85	1.66	9.02	4.32	7.70	0.17	18.92	8.26	1.23	0.71	0.09	2.84
加拿大卡亨尼克	37.15	0.31	4.29	3.88	10.62	0.14	29.13	3.49	0.02	0.15	0.12	3.80
金宝山	38.16	0.51	3.33	6.36	7.01	0.23	27.44	4.01	0.18	0.14	0.00	3.86
金平白马寨	46.24	0.88	9.23	3.34	9.52	0.20	15.98	5.58	1.69	1.01	0.23	2.27
苏联贝辰加	41.68	2.07	7.60	4.09	10.11	0.13	18.72	8.34	1.02	0.59	0.02	2.31
苏联肯皮尔赛	39.15	0.40	3.54	5.41	2.93	0.08	31.62	2.24	1.42	0.45	0.69	5.64
永仁朱布	43.16	1.58	4.47	5.42	7.69	0.31	21.51	6.93	0.45	0.54	0.10	3.42

表 2 待测岩体平均化学成份表 (w<sub>B</sub> %)

岩体名称	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	m/f
会理大湾子	42.25	0.98	5.54	3.76	7.09	0.13	21.33	8.14	1.20	0.51	0.05	3.61
会理大岩子	38.68	1.10	7.12	7.81	5.10	0.14	18.48	7.50	0.38	0.24	0.18	2.75
会理核桃树	43.01	1.62	4.91	5.63	6.95	0.25	21.73	7.28	1.31	0.38	0.15	3.35
会理黄土坡	44.82	1.33	4.44	3.59	8.54	0.25	16.70	14.10	1.28	0.49	0.11	2.97
会理兴隆	38.21	0.03	0.52	5.18	1.84	0.05	37.60	0.83	0.04	0.03	0.02	13.98
会理老棚湾	44.21	2.52	13.06	2.63	9.73	0.28	7.62	9.52	2.96	1.76	0.27	1.12
会理李家湾	40.20	0.77	8.74	3.54	10.50	0.20	23.83	5.37	1.35	0.36	0.11	3.10
会理力马河	44.85	1.66	9.02	4.32	7.70	0.17	18.92	8.26	1.23	0.71	0.09	2.84
会理青矿山	40.45	2.02	4.86	8.68	8.48	0.12	18.36	9.04	1.07	0.88	0.15	2.25
会理清水河	45.36	1.90	6.53	4.91	6.76	0.12	17.33	9.60	0.91	0.99	0.19	2.69
会理田房	46.15	1.78	5.59	5.22	6.29	0.09	16.36	12.66	0.90	0.62	0.11	2.68
会理通安竹菁	45.86	0.60	14.97	4.21	5.82	0.16	12.15	8.55	2.16	1.26	0.07	2.12
会理小阿拉	41.94	0.99	10.77	4.82	8.46	0.17	18.00	7.76	1.25	0.27	0.14	2.52
会理小官河	44.00	3.52	12.01	3.29	9.27	0.19	11.90	8.75	1.84	0.65	0.12	1.66
会理小黑菁	46.65	2.14	14.55	2.82	8.46	0.21	6.15	9.98	3.29	1.18	0.61	1.07
会理秀水河	40.49	3.28	7.63	6.31	10.42	0.22	13.15	11.16	1.29	0.78	0.02	1.45
会理秧田沟	38.08	1.84	5.69	20.79	7.01	0.00	16.97	4.30	0.80	0.50	0.00	1.39
会理杨合伍	44.67	2.55	3.95	4.94	6.70	0.17	18.79	13.93	0.56	0.28	0.20	3.17
会理牛金树	42.51	0.05	1.04	4.09	2.17	0.04	35.65	0.51	0.31	0.03	0.10	14.81

## 4 预测结果

双会地区已知产铜镍铂矿的大岩子岩体、核桃树岩体,已知产铜镍矿的力马河岩体没有参加建设《找矿决策模型》。将其放在待测岩体中,用以检验预测结果的可信程度。结果证明已知含矿岩体均入选,分数皆高。大岩子铂矿和核桃树铂矿判决得分,比力马河铜镍矿得分高。据此将得分值大于具中型矿床规模力马河的(得分大于76.01%)评为预测成矿岩体,共9个。得分小于力马河,大于具小型矿床规模秧田沟的(得分63.95%~76.01%)评为具找矿线索岩体,共6个。这一类中包含了经钻探探索不见矿的田房岩体。得分小于秧田沟(小于63.95%)为预测不含矿岩体。共7个。模型岩体回代结果如表3。

表3 模型岩体回代结果

岩体名称	样品数	判别得分/%	结语
大岩子	7	97.99	预测成矿岩体
李家湾	1	91.48	
黄土坡	3	88.79	
清水河	3	84.95	
大湾子	4	84.27	
核桃树	4	83.82	
杨合伍	7	81.17	具找矿线索岩体
小阿拉	3	80.71	
力马河	8	76.01	
秀水河	6	74.09	
田房	17	73.89	
通安竹菁	3	72.57	
青矿山	7	71.84	预测不含矿岩体
小关河	5	68.27	
秧田沟	3	63.95	
老棚湾	3	62.97	
洪川桥	2	59.32	
小黑菁	2	57.96	
会理幅兴隆	29	57.18	
会理幅牛金树	9	55.51	

## 5 结 语

利用基性超基性岩石地球化学参数进行找矿,前人进行了大量工作,总结了m/f、A/Ac比值等有意义的找矿参数。但这些参数多为作者个人经验总结,常有局限性。利用电脑将岩石化学分析结果排列组合计算找矿参数,组建《找矿决策模型》,包容面大,判别力强,客观公正。应用《找矿决策模型》可迅速地对一个地区的基性超基性岩进行铜镍(铂)矿预测,按得分排队,筛选铜镍(铂)矿找矿靶区。大大提高了工作的科学性和效率。

欢迎对《找矿决策模型》软件有兴趣的同好,来人(函)索取、交流。诚请赐教!

## 参 考 文 献

- 候德义,主编.1984.找矿勘探地质学.地质出版社.
- 唐兴信,田竞亚,主编.1979.攀西地区基性超基性岩体含矿性初步研究.地质部矿床地质研究所.
- 张文宽,杨本锦,李银彬,等.1983.金刚石找矿计算机决策模型专题研究报告.四川省地质矿产局403地质队.
- 张文宽,杨本锦.1987.用计算机选取地球化学找矿参数.物化探计算技术.
- 骆耀南.1985.中国攀枝花——西昌古裂谷带.见:中国攀西裂谷文集(1).
- 刘朝基,曾绪伟,金久堂,须同瑞.1986.康滇地区基性超基性岩.见:西昌—滇中地区地质矿产科研丛书.重庆出版社.
- Naldrett A J, 著.2004.张文宽,译.诺里尔斯克地区Ni-Cu-PGE成矿模式及其在溢流玄武岩分布区的应用.四川地质学报地质译文选集,1.