基于 GIS 矿产勘查靶区优选技术

夏庆霖[1,2,3], 成秋明[2,3], 左仁广[2,3], 张生元[4], 陈志军[2,3]

1. 中国地质大学地球科学与资源学院, 北京 100083
2. 中国地质大学地质过程与矿产资源国家重点实验室, 湖北武汉 430074
3. 中国地质大学资源学院, 湖北武汉 430074
4. 石家庄经济学院资源环境工程研究所, 河北石家庄 050031

摘要: 靶区优选是矿产勘查中的一个关键环节, 它既是矿产资源预测成果的直接体现形式, 同时又是联系矿产资源预测与勘查工作部署的桥梁. 然而, 由于人们认识上的不完备性和缺乏相应的技术手段支撑, 使得靶区优选常被忽视或简化. 探讨了靶区优选的地质基础原则, 建立了靶区优选的技术流程, 研发了基于 GIS 支持下靶区优选计算机辅助决策模块, 并以云南省个旧地区与岩浆活动有关的锡铜多金属矿靶区为例进行了示范研究. 结果表明靶区优选技术及相应的软件能够客观地反映不同靶区的特征, 提高靶区优选的智能化程度和工作效率.

关键词: 矿产资源定量化预测; 不确定性; 靶区优选; 个旧锡铜多金属矿.
中图分类号: P628 文章编号: 1000-2383(2009)02-0287-07 收稿日期: 2008-12-18

GIS Technique of Optimum Target Areas in Mineral Resource Prospecting

XIA Qing-lin[1,2,3], CHENG Qiu-ming[2,3], ZUO Ren-guang[2,3], ZHANG Sheng-yuan[4], CHEN Zhi-jun[2,3]

1. *School of the Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences, Beijing* 100083, *China*
2. *State Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources, China University of Geosciences, Wuhan* 430074, *China*
3. *Faculty of Earth Resources, China University of Geosciences, Wuhan* 430074, *China*
4. *Institute of Natural Resource and Environment Engineering, Shijiazhuang University of Economics, Shijiazhuang* 050031, *China*

Abstract: Optimum target area (OTA) plays an important rule in mineral resource prospecting, which is not only the end production of mineral resource assessment, but also the bridge between the mineral resource assessment and exploration plan. However, it is usually ignored or simplified owing to the incomplete cognition and being lack of technique or software. In this paper, we disscuss the OTA principles based on the geology, set up the data flow for OTA and develop the GIS-based OTA model. The Gejiu, Yunnan, southwestern China, was chosen as an example to do the demonstration research. The results demonstrate that the OTA model could reflect the properties of target areas, and can enhance the efficiency of OTA.

Key words: mineral resource quantitative assessment; uncertainty; optimum target area; Gejiu tin-copper polymetallic deposit.

矿产资源预测中的不确定性问题一直受到广泛关注(Bonham-Carter, 1994; Bardossy and Fodor, 2004; USDI and USGS, 2005; Zhao *et al*., 2008; 左仁广和夏庆霖, 2008), 如何减少资源估算的重大不确定性已经成为矿产预测方法研究的热点和难点. 靶区优选是矿产勘查中的一个关键环节, 同时也是矿产资源预测的一项重要内容. 靶区既是矿产资源预测评价成果的直接体现形式, 同时又是联系矿产资源预测评价与勘查工作部署的桥梁. 靶区优选直接关系到后续勘查工作的布局与成败, 影响着不同阶段勘查工作的衔接和过渡. 优选过程是一个对靶区找矿信息进一步浓集和查证的过程, 是一个降低勘查风险的过程, 同时, 也是一个去粗取精、去伪存真的过程. 然而, 尽管靶区优选工作十分重要, 在

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(No. 40638041); 教育部创新团队基金(No. IRT0755); 地质调查项目(No. 121201063390110); 地质过程与矿产资源国家重点实验室科技部专项经费资助.
作者简介: 夏庆霖(1968-), 男, 博士, 副教授, 主要从事矿产资源勘查与评价的科研和教学工作. E-mail: qlxia@cug.edu.cn

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

实际工作中却常常被忽视或简化. 究其原因主要有: (1) 认识上的模糊, 如将找矿有利地段(找矿远景区或找矿靶区) 的圈定简单地等同于靶区优选, 实际上靶区优选工作的内涵更广, 既包括靶区空间位置的确定、也包括对靶区的综合研究和优劣排序等; (2) 方法技术上的欠缺, 目前大量研究都是针对如何合理圈定找矿有利地段的, 而针对靶区优选的方法研究则较为薄弱. 从某种程度上说, 靶区优选的难度要大于找矿有利地段圈定的难度, 因为找矿有利地段的圈定主要是考虑各类找矿信息及其组合的空间分布特征及共性, 而在靶区优选中除此之外还要考虑各个找矿远景区或靶区内这些信息的属性特征及个性, 对各种找矿信息进行逐一查证、排除多解性, 另外还要考虑经济、技术、环境等综合因素. 由此可见, 靶区优选是一项综合性研究工作, 它可以有效降低预测结果的不确定性和提高预测结果的实用性. 在矿产勘查中, 人们通常将中小比例尺(小于等于 1 ∶10 万) 成矿预测所圈定的找矿有利地段(preferable ore-finding area) 称为找矿远景区(ore-finding prospect), 而将大比例尺(大于等于 1 ∶5 万) 成矿预测所圈定的找矿有利地段称为找矿靶区(ore-finding target area). 由此可见, 找矿远景区和找矿靶区都只是矿产勘查不同阶段、不同层次的各种找矿有利地段. 所以, 靶区优选的实质是对矿产普查阶段各种比例尺下所圈定的各级找矿有利地段进行进一步地甄别、筛选及分类等.

1 靶区优选的原则

赵鹏大等(2001) 提出的系统优化与综合评判原则对靶区优选工作具有重要的指导意义. 考虑到找矿靶区优选的复杂性与实效性等因素, 笔者建议增加靶区优选须采取以地质研究为基础的原则, 即地质基础原则.

1.1 系统优化原则

找矿靶区优选的目的是对找矿靶区进行选优弃劣, 实现由面到点、面中求点, 从而使靶区见矿概率和潜在社会经济价值大小分明. 因此, 优选过程中涉及的各方面信息、标志、工作程序和方法的选择都应该是优化的, 才能从整体上保证系统优化的实施, 保证所划分的高级别远景区具有最小的面积、最大的见矿概率和潜在利用价值.

1.2 综合评判原则

优化过程中必须结合各方面的影响因素进行全面的综合对比, 具体包括成矿的有利地质条件, 已知的各种矿化信息的可靠程度, 可能具有的矿床规模以及经济价值、社会需求程度、自然经济地理条件、预期的经济回报等.

1.3 地质基础原则

靶区优选必须以坚实的地质研究为基础. 找矿有利地段是否成立? 找矿信息是否可靠? 成矿潜力如何? 靶区的边界确定是否合理? 主攻矿种和矿床类型是什么? 等等, 都必须通过深入的地质分析和研究来确定, 以保证靶区优选结果的可靠性和合理性. 由于地质过程和成矿作用的复杂性, 以及矿床产出空间位置和矿体形态、质、量等的特殊性, 离开了深入细致的地质研究, 靶区优选将变成纸上谈兵, 其预测结果的可信度和实效性将大打折扣. 所以, 在靶区优选中, 一切将地质研究边缘化的做法都是不可取的.

2 靶区优选的技术流程

在找矿有利地段圈定以后, 应进一步利用相似类比方法或求异方法, 对各个找矿有利地段进行综合研究, 从而达到进一步浓集找矿信息、降低不确定性和对靶区筛选及分类的目的.

2.1 找矿信息剖析

在已圈定的找矿有利地段内, 系统分析各类找矿信息(包括直接找矿信息和间接找矿信息) 的空间分布、属性、种类、组合模式, 尤其是它们的可靠程度. 结合地质认识, 深入剖析和综合研究物探、化探、遥感和重砂异常的特征、规模、强度和成因, 旨在排除异常的多解性和“噪声”干扰, 并识别和提取与成矿作用关系密切的矿致异常. 通过对靶区内各种找矿信息的梳理与剖析, 重点是判别其找矿意义(价值), 以达到进一步精炼和浓集找矿信息的目的. 此外, 还应重视深部找矿信息与浅部找矿信息的关联. 对于成矿条件较为有利、工作程度较高但过去却未取得勘查突破的靶区, 还应着重分析制约其找矿突破的关键问题或重大找矿疑难问题, 着重反思过去的找矿思路是否正确、找矿方法是否适用, 注重新理论、新方法和新技术的应用, 注重创新思维的应用, 进一步开拓视野.

2.2 基于地质属性的靶区优选

根据实际情况, 选择合理的优选方法, 全面、系

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

统地研究各类成矿地质要素和预测要素, 以保证靶区优选的客观性. 通过对靶区进行相关成矿地质条件、矿产资源潜力、找矿概率等的评价, 逐一甄别、筛选, 并分类、排序, 从而达到对找矿靶区"去伪存真、去粗取精"的目的. 在此, 应重视各类地质因素的级别、层次和重要性, 在多变量综合信息评价的同时, 要着重分析必要要素或关键性因素的空间分布及属性变化等对靶区的影响.

2.3　地质—经济—环境联合评价

在地质属性优选的基础上, 综合考虑其社会、经济和环境等属性(国家目标、政策法规、市场供需、经济技术、环境影响等) 进行"地质—经济—环境"联合评价及选区论证, 为后续勘查工作部署提供科学依据.

2.4　野外验证及优选结果修正

必要的靶区野外验证工作对提高找矿靶区的质量是十分有益的. 由于自然界地质矿产条件的复杂性, 以及人类认知水平的局限性, 通过实践检验找矿靶区、不断积累经验显得尤为重要. 野外验证可以极大地提高和深化对局部成矿规律的认识, 积累靶区优选的经验与教训, 便于及时调整和修改靶区优选方案、指标和结果, 从而提高实际找矿效果.

3　基于 GIS 的靶区优选技术

靶区优选通常采用"相似类比"的方法和"趋势外推"的方法, 直到 20 世纪 90 年代中期, 以"求异"原理为核心的地质异常理论才开始在靶区优选中得到应用(卢宇等, 1996). 近年来, 有关靶区优选方法及数学模型的研究取得了一些可喜的成果(李中兰, 1994; 周子勇和程方道, 1995; 王功文和杜杨松, 2000), 尤其是 GIS 技术在成矿预测中的广泛应用进一步带动了靶区优选方法技术的进步(左仁广等, 2007). 笔者根据不同的分类依据, 将靶区优选方法划分为类比法和求异法, 数据驱动法、知识驱动法和混合驱动法, 以及定性方法和定量方法等(夏庆霖, 2008). 其中有些方法本身就是多种方法的组合, 至于靶区优选过程中选择什么样的方法更合理, 应根据实际情况而定. 应加强"如何降低预测结果不确定性、如何提取诊断性找矿信息、如何解决模型区与找矿靶区信息不对称性"等关键问题研究, 通过靶区优选工作进一步突出成矿关键信息, 压制干扰信息, 从而提高矿产预测成果的准确性和可靠性.

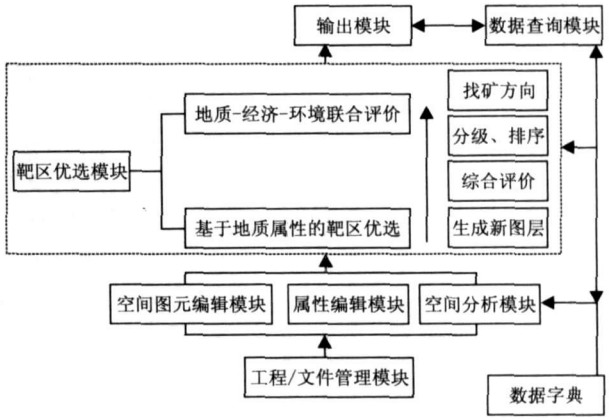

图 1　基于 GIS 的靶区优选计算机辅助决策系统功能模块结构示意图

Fig. 1　Structure sketch map of the major modules in the GIS-based OTA system

笔者利用 Visual Basic 语言和 MapGIS 6.7 二次开发库研制了工具软件——靶区优选计算机辅助决策系统, 采用知识驱动与数据驱动相结合的方法灵活实现狭义的和广义的靶区优选. 该系统具有工程/文件管理、空间图元及属性编辑、空间分析、靶区优选、数据查询和输出等主要功能模块(图 1), 有效地提高了靶区优选的智能化程度和工作效率.

4　实例

个旧锡铜多金属矿成矿密集区位于华南褶皱系、扬子陆块和三江褶皱系构造交汇部位, 蕴藏丰富的锡、铜、铅、锌、钨等金属矿产, 累计探明 Sn 储量 200 多万吨. 尽管目前关于个旧锡铜多金属矿的成因尚存在一些争论, 但燕山中晚期的构造—岩浆活动对该类型矿床的控制作用不容置疑(夏庆霖等, 2007; Zhang *et al*., 2008). 故本次矿产预测选择与燕山中晚期岩浆活动有关的锡铜多金属矿为预测对象, 模型区位于个旧复式岩体及周边地区, 预测区位于红河断裂以北(N22°52′ ~ 24°00′, E102°00′ ~ 104°00′), 涉及 4 个 1∶20 万地质图幅. 根据矿产预测概念模型, 选择了距离岩体隐伏边界最佳距离、距离三组以上方向构造交汇点最佳距离、解释推断岩体影响范围和强度、锡矿有关组合元素地球化学异常 4 个证据因子图层, 利用 GeoDAS 3.0 系统提供的模糊证据权方法绘制后验概率图(图 2), 并以 0.03为阈值, 圈定该区锡铜多金属找矿有利地段. 更多关于信息提取、信息综合在个旧地区找矿有利地

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

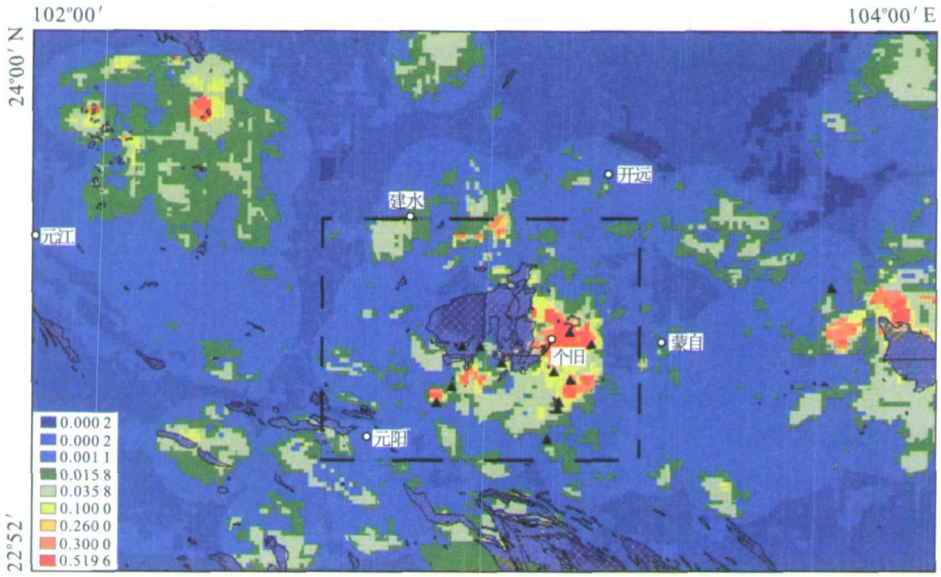

图 2 个旧地区后验概率图

Fig. 2 Posterior probability map of Gejiu, China

图中虚线框表示模型区, 黑色三角形表示锡多金属矿床

表 1 个旧地区矿产预测概念模型

Table 1 Concept model of mineral resource assessment in Gejiu, China

一级要素	二级要素(权重)	特征
岩浆岩(40%)	岩性(8%)	黑云母花岗岩、黑云二长花岗岩
	结构构造(4%)	中—细粒等粒结构、疏斑状结构
	地质年代(8%)	燕山晚期(82 Ma±)、燕山中期(115 Ma±)
	岩石化学特征(2%)	高硅(SiO_2: 73.27%~74.72%)、富碱(Na_2O+K_2O: 8.51%~8.85%)、高钾(K_2O/Na_2O: 1.14~1.56)
	微量元素特征(2%)	富 F、Be、As
	成矿元素特征(4%)	富 Sn、Cu、Pb、Zn、Ag、Ir
	形态和产状(4%)	次级突起与凹陷, 产状突变部位
	剥蚀深度(4%)	浅, 多属于隐伏岩体
	接触带(4%)	矽卡岩化、大理岩化、角岩化
构造(20%)	褶皱(5%)	NE 向复式背斜的轴部, 及其与 EW 向褶皱叠加部分
	断裂方向(5%)	NE 向、EW 向、SN 向
	断裂性质(5%)	压扭性、先压扭后张性
	与成矿时代关系(5%)	成矿前, 成矿期构造
有利围岩(10%)	岩性(5%)	白云岩、白云质灰岩、大理岩、玄武岩
	时代(2%)	T_2、$\in_2$、C、D_{2-3}、T_1
	结构构造(3%)	中—薄层互层状
物、化、遥异常(30%)	化探异常(15%)	经 *S-A* 分形滤波处理的Sn 异常、Sn-W-Ti-Mn-Cu-Bi 组合异常
	重力异常(5%)	重力推测隐伏花岗岩体
	航磁异常(5%)	航磁推测隐伏断裂和接触带构造
	遥感异常(5%)	Si、Fe、羟基矿物蚀变信息, 遥感解译线、环构造

段圈定中应用情况可参考其他有关论文(Cheng, 2007; 成秋明, 2008; Cheng and Agterberg, 2008; 成秋明等, 2009a, 2009b).

在此基础上, 深入剖析各个找矿有利地段的成矿地质条件和各类找矿信息, 并对其可靠性和不确定性进行评价, 再根据该区矿产预测概念模型(表 1), 利用靶区优选计算机辅助决策系统提供的矿床模型类比法, 计算各个找矿有利地段与矿床模型的匹配系数(表 2), 进而采取人机交互式的方法对各找矿有利地段进行逐一甄别, 确定主攻矿种、矿床类型和找矿模型及勘查方案, 并对最终确定的找矿靶区进行排序和分级. 该区共划分A级找矿有利地段

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表 **2**　个旧地区找矿有利地段

Table 2　Schedule of preferable ore-finding areas in Gejiu, China

找矿有利地段编号	工作部署区	匹配系数	联合评价指数	找矿有利地段编号	工作部署区	匹配系数	联合评价指数	找矿有利地段编号	工作部署区	匹配系数	联合评价指数
A-1	Y1	1.00	8.1	B-10	K2	0.61	6.6	C-12	K16	0.44	5.5
A-2	J1	0.89	7.9	B-11	K1	0.60	6.7	C-13	K7	0.43	6.2
A-3	J4	0.87	7.5	C-1	K6	0.58	6.3	C-14	K7	0.43	6.2
A-4	J3	0.86	7.6	C-2	K17	0.56	5.5	C-15	K7	0.43	6.2
B-1	Y1	0.79	8.1	C-3	K8	0.53	6.1	C-16	K7	0.43	6.2
B-2	J2	0.77	7.7	C-4	K8	0.52	6.1	C-17	K7	0.43	6.2
B-3	J2	0.77	7.7	C-5	K12	0.50	5.9	C-18	K5	0.42	6.4
B-4	J1	0.75	7.9	C-6	K10	0.49	6.0	C-19	K5	0.42	6.4
B-5	Y1	0.74	8.1	C-7	K9	0.48	6.1	C-20	K14	0.41	5.6
B-6	J4	0.73	7.5	C-8	K9	0.47	6.1	C-21	K15	0.41	5.5
B-7	J5	0.72	7.1	C-9	K11	0.46	5.9	C-22	K13	0.40	5.6
B-8	K2	0.63	6.6	C-10	K11	0.44	5.9	C-23	J3	0.40	7.6
B-9	K3	0.62	6.6	C-11	K4	0.43	6.5	C-24	K1	0.38	6.7

注: A-1 到 A-4 为 A 级; B-1 到 B-11 为 B 级; C-1 到 C-24 为 C 级.

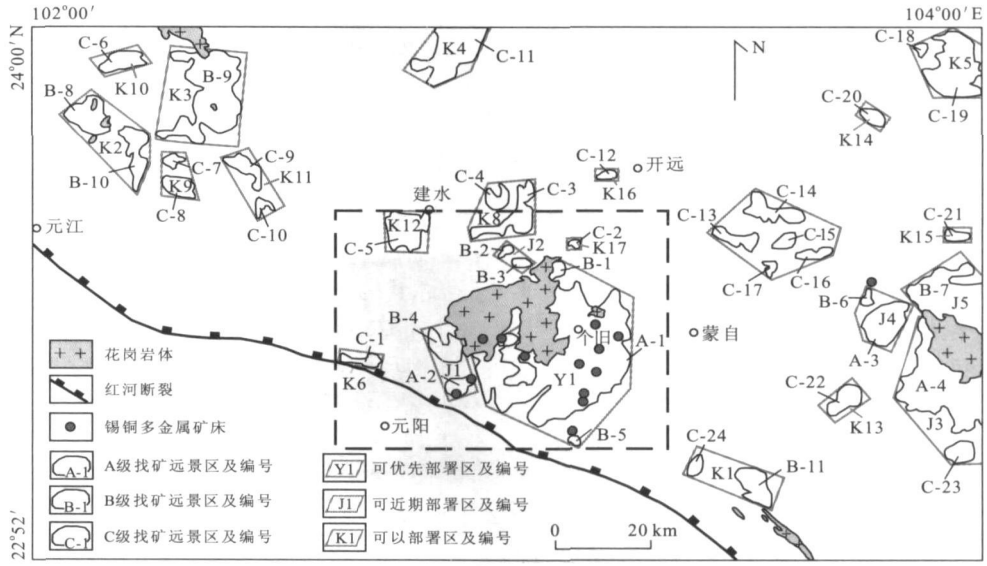

图 3　个旧地区找矿有利地段空间分布

Fig. 3　Spatial distribution map of the preferable ore-finding areas in Gejiu, China

表 **3**　“地质—经济—环境”联合评价指标体系

Table 3　Index system of the united evaluation for geology-economy-environment

序号	联合评价指标	优	中	差	序号	联合评价指标	优	中	差
1	成矿地质条件优劣	0.9	0.5	0.1	6	国家需求及宏观经济调控政策, 是否符合西部大开发、少数民族地区政策等	0.9	0.5	0.1
2	矿产资源潜力大小	0.9	0.5	0.1	7	区域经济发展规划, 是否属于资源集中区、资源基地、相关产业基地、行业规划区	0.9	0.5	0.1
3	自然地理条件评价, 勘查开发条件(地形、交通、水电、气候、人力等能否保证矿产勘查和开发)	0.9	0.5	0.1	8	国家与地方政策、法律、法规	0.9	0.5	0.1
4	环境影响评价, 勘查开发的环境影响评估, 是否属于自然保护区、世界遗产保护区或风景名胜区等	0.9	0.5	0.1	9	主要矿床类型与预测区的经济技术评价, 开发可能性分析	0.9	0.5	0.1
5	市场需求与预测区资源相关程度评估, 是否属于紧缺矿产或战略矿产	0.9	0.5	0.1					

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

4处、B 级找矿有利地段 11 处和 C 级找矿有利地段 24 处(图 3).然后,综合考虑成矿地质条件、资源潜力、经济技术、环境、地理、交通、市场、政策法规等诸方面因素(表 3),开展"地质—经济—环境"联合评价.进一步筛选出该地区可优先部署工作区 1 处、可近期部署工作区 5 处和可以部署工作区 17 处(图 3,表 2).

References

Bardossy, G., Fodor, J., 2004. Evaluation of uncertainties and risks in geology. Springer, Berlin.

Bonham-Carter, G. F., 1994. Geographic information systems for geoscientists: Modelling with GIS. Pergamon, Oxford, 398.

Cheng, Q. M., 2007. Mapping singularities with stream sediment geochemical data for prediction of undiscovered mineral deposits in Gejiu, Yunnan Province, China. *Ore Geology Reviews*, 32(1—2): 314—324.

Cheng, Q. M., 2008. Singularity of mineralization and multifractal distribution of mineral deposits. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 27(3): 298—305 (in Chinese with English abstract).

Cheng, Q. M., Agterberg, F. P., 2008. Singularity analysis of ore-mineral and toxic trace elements in stream sediments. *Computers & Geosciences*, DOI: 10.1016/j.cageo.2008.02.034.

Cheng, Q. M., Zhao, P. D., Chen, J. G., et al., 2009a. Application of singularity theory in prediction of tin and copper mineral deposits in Gejiu district, Yunnan, China: Weak information extraction and mixing information decomposition. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 34(2): 232—242 (in Chinese with English abstract).

Cheng, Q. M., Zhao, P. D., Zhang, S. Y., et al., 2009b. Application of singularity theory in prediction of tin and copper mineral deposits in Gejiu district, Yunnan, China: Information integration and delineation of mineral exploration targets. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 34(2): 243—252 (in Chinese with English abstract).

Li, Z. L., 1994. Application of multi-factors fuzzy assessment method in optimum target areas. *Geological Science and Technology of Jiangxi*, 21(4): 47—50 (in Chinese).

Lu, Y., Li, S. L., Yu, C. J., et al., 1996. Application of geological anomalies theory to the preference and evaluation of ore-search target. *Geology and Prospecting*, 32(1): 7—12 (in Chinese with English abstract).

U. S. Department of the Interior, U. S. Geological Survey, 2005. The U. S. geological survey mineral resources program five-year plan, 2006—2010. http://minerals.usgs.gov/plan/2006—2010/2006—2010_plan.html.

Wang, G. W., Du, Y. S., 2000. Synthetical research of multi-information of metallogeny and optimization of prospecting targets in Yulong copper ore belt. *Geoscience*, 14(2): 158—164 (in Chinese with English abstract).

Xia, Q. L., 2008. Theories and methods of optimum target areas in mineral resources exploration. In: Chen, Y. C., Xue, C. J., Zhang, C. Q., eds., Explortion of the depth, development of the west, outlook of the world: The Proceeding of the 9th National Conference of Mineral Deposits, China. Geological Publishing House, Beijing, 737—738 (in Chinese).

Xia, Q. L., Zhang, S. T., Chen, S. Y., et al., 2007. The key problems for deep mineral potential assessment in Gejiu tin deposit, Yunnan, China. *Acta Mineralogica Sinica*, 27(Suppl.): 530—531 (in Chinese).

Zhang, S. T., Xia, Q. L., Zhao, P. D., et al., 2008. Diversity of mineralization and spectrum of the Gejiu superlarge tin-copper polymetallic deposit, Yunnan, China. *Journal of China University of Geosciences*, 19(4): 363—370.

Zhao, P. D., Cheng, Q. M., Xia, Q. L., 2008. Quantitative prediction for deep mineral exploration. *Journal of China University of Geosciences*, 19(4): 309—318.

Zhao, P. D., Chi, S. D., Li, Z. D., et al., 2001. Theories and methods for mineral exploration. China University of Geosciences Press, Wuhan (in Chinese).

Zhou, Z. Y., Cheng, F. D., 1995. The application of the fuzzy direct recognition method to ore prognosis in southern Hunan. *Geophysical & Geochemical Exploration*, 19(4): 271—279 (in Chinese with English abstract).

Zuo, R. G., Xia, Q. L., 2008. The uncertainty propagation model in mineral resources predication. *Progress in Geophysics*, 23(4): 1282—1285 (in Chinese with English abstract).

Zuo, R. G., Xia, Q. L., Tan, N., et al., 2007. Synthetic information prediction of porphyry copper in Tibet. *Journal of Central South University (Science and Technology)*, 38(2): 368—373 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

成秋明, 2008. 成矿过程奇异性与矿床多重分形分布. 矿物岩石地球化学通报, 27(3): 298—305.

成秋明, 赵鹏大, 陈建国, 等, 2009a. 奇异性理论在个旧锡铜矿产资源预测中的应用: 成矿弱信息提取和复合信息

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

分解. 地球科学——中国地质大学学报, 34(2): 232—242.
成秋明, 赵鹏大, 张生元, 等, 2009b. 奇异性理论在个旧锡铜矿产资源预测中的应用: 综合信息集成与靶区圈定. 地球科学——中国地质大学学报, 34(2): 243—252.
李中兰, 1994. 多因子模糊综合评估法在找矿靶区优选中的应用. 江西地质科技, 21(4): 47—50.
卢宇, 李师兰, 余成就, 等, 1996. 地质异常理论在找矿靶区优选与评价中的应用. 地质与勘探, 32(1): 7—12.
王功文, 杜杨松, 2000. 玉龙铜矿带成矿多元信息综合分析与找矿靶区优选. 现代地质, 14(2): 158—164.
夏庆霖, 2008. 矿产勘查靶区优选理论与方法. 见: 陈毓川, 薛春纪, 张长青, 主编. 主攻深部, 挺进西部, 放眼世界——第九届全国矿床会议论文集. 北京: 地质出版社, 737—738.
夏庆霖, 张寿庭, 陈守余, 等, 2007. 云南个旧锡矿深部资源潜力评价的几个关键问题. 矿物学报, 27(增刊): 530—531.
赵鹏大, 池顺都, 李志德, 等, 2001. 矿产勘查理论与方法. 武汉: 中国地质大学出版社.
周子勇, 程方道, 1995. 模糊直接识别方法在湘南地区成矿预测中的应用. 物探与化探, 19(4): 271—279.
左仁广, 夏庆霖, 2008. 矿产预测中的不确定性传播模型. 地球物理学进展, 23(4): 1282—1285.
左仁广, 夏庆霖, 谭宁, 等, 2007. 西藏冈底斯斑岩铜矿综合信息预测. 中南大学学报(自然科学版), 38(2): 368—373.

* *

《地球科学——中国地质大学学报》
2009 年　第 34 卷　第 3 期　要目预告

青藏高原现今高分辨率地壳运动特征 …… 方　颖等
准噶尔盆地腹部地区侏罗系异常高压特征及测井响应与成因 …… 何　生等
岐口凹陷新近系生物—遗迹相及环境解释 …… 刘彦博等
南海岩石圈破裂方式与扩张过程的三维物理模拟 …… 孙　珍等
雅克拉凝析油气田油水界面甲烷天然释放及其源示踪 …… 唐俊红等
东营凹陷负反转构造样式及其运动学特征 …… 阳怀忠等
“协优”成矿预测方法的理论探索与实践 …… 郑有业等

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net