

全国重要矿产资源潜力预测评价及综合项目

矿产资源定量预测思路 与方法流程

成秋明

矿产资源定量预测新方法项目组

地质过程与矿产资源国家重点实验室

中国地质大学

交流提纲

- 第二章“矿产资源定量预测思路与方法流程”
- 本项目预测方法的创新点
- 方法的完善和改进方面的最新成果
- 软件演示与实例介绍

成矿定量预测与深部找矿

赵鹏大

中国地质大学, 北京 100083; 湖北 武汉 430074

摘要:成矿预测是在不确定条件下制定最优决策的工作。成矿预测作为一种地质系统,与其他技术、经济系统存在重要区别。由于矿床类型的多样性,矿床成因的复杂性,控矿因素的隐蔽性和找矿信息的多解性,成矿预测结果具有不确定性并常常因人而异。探索成矿预测过程客观化、定量化和精确化一直是成矿预测学的前沿课题。文中以个旧锡矿为例展示致矿地质异常与矿体空间产出及分布的密切关系,强调以“求异”准则为指导的成矿定量预测的重要性。当今地质勘查工作面临深部找矿问题,论文从深部找矿的概念、类型、目标、效益等方面简要介绍了国外理论研究和找矿实践概况。强调深部找矿中要加强地壳深部结构的研究,要重视深部找矿的经济“回报率”和勘查项目的“转化率”的重要性。

这三个问题可归结为：(1) 成矿远景预测；(2) 经济价值预测；(3) 找矿方向预测。而恰恰是在这三个问题上反映出成矿预测的不确定性。因此，成矿预测被认为是“在不确定条件下制定最优决策”的工作，也就是在各种可能的决策和所对应的可能结果中，或称“决策谱”中选择一种最佳结果，那就是在不漏失或最少漏失矿体前提下最大限度缩小需要进行详细工作的地区范围，达到成功和收益最大，损失和消耗最小。由于其不确定性，所以是寻求正面结果概率最大、负面结果概率最小的双概率表征。

在上述目标和需求的驱动下，人们开始寻求成矿预测过程客观化、预测结果最优化、预测精度定量化的各种数学方法和途径。

1 成矿定量预测与评价

俄罗斯学者 A·Γ·哈尔钦科夫(1987)在《矿产资源预测原则及方法》^[1]一书中分析了矿产预测作为一种地质系统

该文作者认为“当今最常用的预测方法,或对系统最适宜的分析方法是动力分析法,例如根据某个参数值的上升或下降序列将不同建造类型或成因类型的矿床加以系统化”。正因为成矿系统的多层次、多尺度、多元素、多类型以及多子系统等特性,进行定量分析研究是必不可少的。成矿系统中各因素(元素)之间的关联性及其程度的多样性和常常出现的自组织性、自相似性和奇异性,使非线性理论和方法在成矿规律研究和成矿预测中的应用,在近年取得很大的发展。

根据哈尔钦科夫资料,世界上第一批资源预测始于 1921 年,是美国地质调查局及美国石油地质协会对美国本土石油储量的预测。1924 年在伦敦能源会议上首次进行了全球石油资源的预测。在前苏联,И·М·古勃金院士在世界大陆对比基础上预测了苏联的石油资源,以美国产油区为参照物,在 20 世纪 40 年代用构造平均储量法预测了苏联各地区的石油资源量,同时也预测了一些盆地的煤资源量。

而现代定量预测方法始于 20 世纪 50 年代,60 年代、70 年代以及以后都有一些代表性的论文和专著推动矿产定量预测与评价的发展,如 1970 年加拿大著名数学地质学家 F·P·阿格特伯格发表的《地质学的多变量预测方程》;1976 年前苏联学者 A·H·布加耶茨编著的《矿床预测的数学方法》;1984 年美国资源评价学家 D·P·哈里斯的专著《矿产资源评价》等都对矿产定量预测及评价进行了综合性的论述。进入 90 年代

Agterberg
院士**76**年获得
克伦宾奖章

94年获得
克伦宾奖章

1983 年笔者在《矿床统计预测》^[2]一书中将“相似类比”、“求异”和“定量组合控矿”作为成矿定量预测的三项理论基础,1990 年以来又系统地提出了“综合地质异常致矿”的理论和方法,而且认为:“矿床本身就是某种有用元素或矿物(或其组合)形成的、具有经济价值的地质异常”^[3]。2002 年笔者提出“三联式”资源定量预测与评价的数字找矿理论与方法^[4]。

赵鹏大院士**92**年获得
克伦宾奖章

量预测及评价进行了综合性的论述。进入 90 年代以后,非线性理论与方法在资源预测与评价中的应用使定量预测研究进入一个新领域,成矿预测成果得到进一步完善与改进。在这个领域,加拿大学者 F·P·阿格特伯格,我国学者成秋明等在“矿床的分形模拟”,“多重分形与空间统计”,“基于 GIS 的矿化与矿床预测的多重分形异常分析”以及有关“奇异性”的研究成果具有重要理论和实际意义。

成秋明**1996**年获得主席奖,**2008**年获得克伦宾奖章

美国地质调查局在 2006—2010 年“矿产资源工程”(MRP)的 5 年目标中指出“确保未发现矿床潜力得到最新定量评价”,认为“现代化的评价是定量的,通过表现与矿产资源相关的经济可行性和不确定性的形式来估计未发现的矿产资源的数量、价值和产地”。美国地质调查局认为,矿产定量评价进一步改善的方向是“用新的、更精确的方法减少估算的重大不确定性”。由此可见,矿产定量预测与评价是国际地质矿产界关注的重点、热点和难点。

1988年在加拿大渥太华加拿大地质调查局召开了国际数学地质会议，专门讨论“在GIS环境下开展综合信息矿产资源定量预测与评价”研讨会（参加人员200多人），标志了GIS综合信息和矿产资源预测领域的里程碑。89年正式出版了论文集（Agterberg & Bonham-Carter）

1994年加拿大地质调查局资深研究员 Graeme Bonham-Carter 出版了“GIS在地学模型建立和资源潜力评价中的应用”专著。成为在资源评价领域而且在GIS空间决策中应用的经典著作。

98年获得
克伦宾奖章

1990-1997年先后领导开发了基于SPANS, ArcView, ArcGIS等GIS平台的资源评价软件包，免费提供全球使用。

最近几年的文献：

2005年年会后主办了《NRR》“资源评价专集”

2007年部分论文正在JCUG上主版

2008年由表及里SPRINGER出版反映“国际数学地球科学学会”（IAMG）成立以来40年发展丛书（主编 Bonham-Carter & Cheng），地质大会期间发行

同时在《MG》和《NRR》杂志上分别发表“非线性地学”和“矿产资源评价”专集

包括：Don Singer, Gary Rainse, Larry Draw, Fabbri and Chung-Jo Chung etc.

矿产资源定量预测与传统地质调查与储量勘探是不同的,具有很强的技术含量和学术含量。

必须以现代成矿学及矿产资源勘查与评价理论作指导,以坚实的地质背景和成矿规律研究为基础,广泛采用各种先进的地球探测和信息处理技术,以及预测模型与方法,并充分发挥专业人员的聪明才智和实践经验。



矿床模型综合地质信息预测技术研究

叶天竺¹, 肖克炎², 严光生³

1. 中国地质调查局 发展研究中心, 北京 100037
2. 中国地质科学院 矿产资源研究所, 北京 100037
3. 中国地质调查局, 北京 100011

摘 要:随着中国国民经济持续快速发展, 中国对矿产资源的需求呈现了快速增长的趋势, 资源短缺已经成为制约中国经济又好又快发展的主要瓶颈之一。为了解决矿产资源短缺问题, 对陆地近地表未查明矿产资源潜力的区位、数量和质量的评价工作已经成为当前十分迫切的任务。文章对矿床模型综合地质信息预测技术体系进行了详细、系统的介绍。该体系以地球动力学、成矿动力学和成矿系列理论为指导, 深入开展区域地质构造研究, 最大限度地分析地质构造的成矿信息, 以各级成矿区带为单元, 划分主要矿产的矿床预测类型, 建立矿床模型, 总结区域成矿系列。全面利用物探、化探、遥感等资料所显示的地质找矿信息, 运用体现地质成矿规律内涵的预测技术, 全面、全过程应用空间数据库及 GIS 技术, 在圈定成矿预测区的基础上估计潜在资源量。

“矿床模型综合地质信息预测技术”的总体思路、项目管理、项目规模、基础研究精细程度、数据水平等均体现了在GIS环境下开展矿产资源预测的特点,具有时代性、实用性和创新性。

如何在如此全面和系统的基础研究和海量数据基础上开展相应的定量预测,使得整个项目达到预期水平是非常具有挑战性的,定量预测方法组本着非常负责的科学态度对待本次研究任务。

全国重要矿产总量预测方法

肖克炎¹, 张晓华¹, 李景朝², 杨毅衡², 陈建平³, 丁建华¹, 娄德波¹, 王保良²,
叶天竺⁴, 张立新⁵

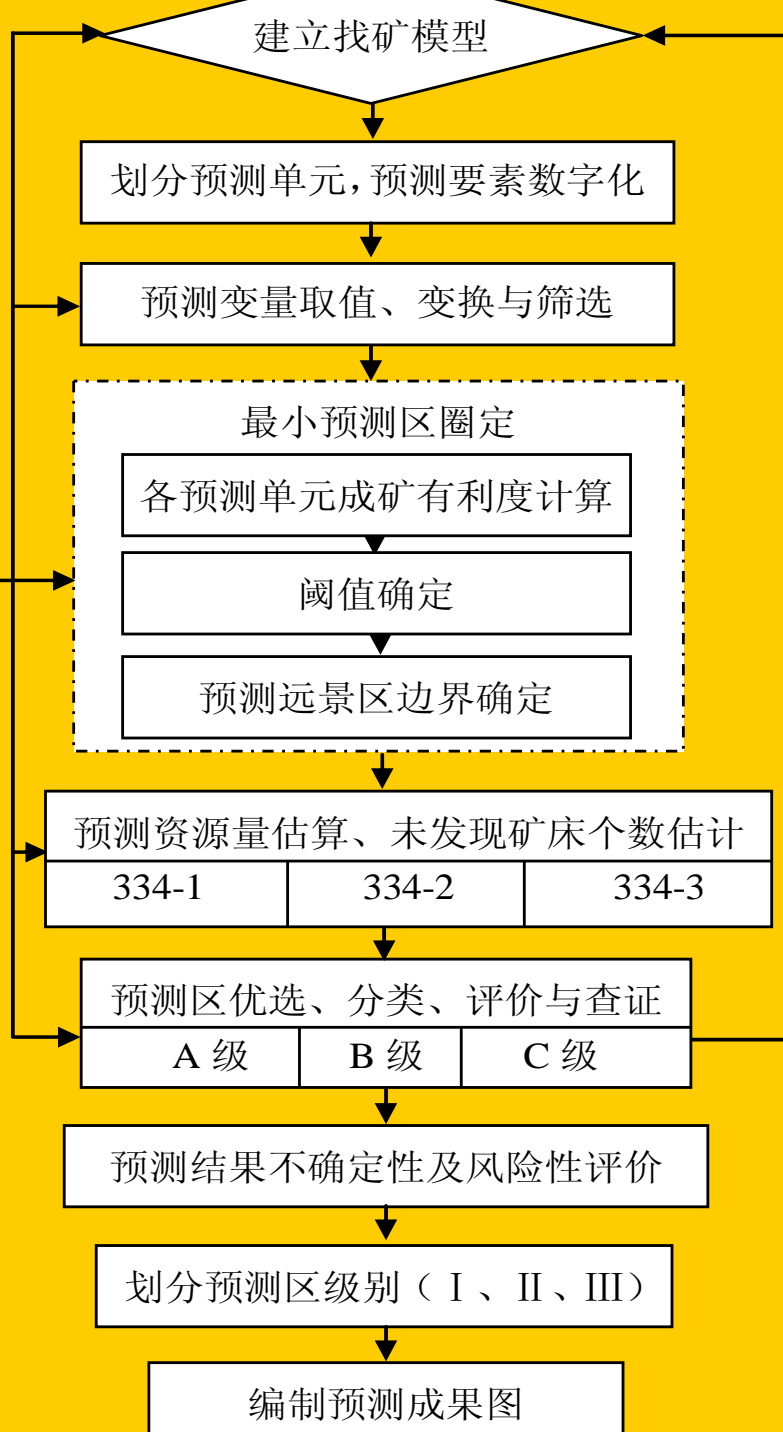
摘 要:全国重要矿产资源评价涉及 25 种重要矿产的近百种矿床类型,需要在 1:20 万尺度水平圈定成矿预测远景区,并科学估算各远景区资源量,为国家矿产资源战略勘查和战略部署提供技术支撑。为了保证预测成果在同一层面上进行全国汇总,制定了全国一致的、标准的技术要求和方法。通过对中国以往一轮、二轮区划预测方法、全国矿产资源总量预测方法及国外最新预测方法的分析和总结,结合近年来预测理论的新发展,确定了全国重要矿产总量预测的理论基础是成矿系列理论、现代成矿动力学理论和综合信息矿产预测理论,采用的预测思路是矿床模型综合地质信息预测方法。文章陈述了总量预测的方法流程和预测技术要求,有关方法思路可供资源评价人员参考。

编写“矿产预测思路与方法流程”是
为指导思想:

先进性、实用性、
可操作性和示范性

矿产定量预测流程

区域成矿要素图及区域成矿模式图、区域矿产预测要素图及预测模型图
典型矿床地质要素分布图与成矿模式、典型矿床预测要素分布图



1 划分矿产预测类型与确定预测工作区

- 1、沉积型矿产
- 2、侵入岩型矿产
- 3、火山岩型矿产
- 4、变质岩型矿产
- 5、复合内生型矿产
- 6、层控内生型矿产

2 数据准备、处理与信息提取

1、数据准备与质量评
估

2、数据处理与信息提
取

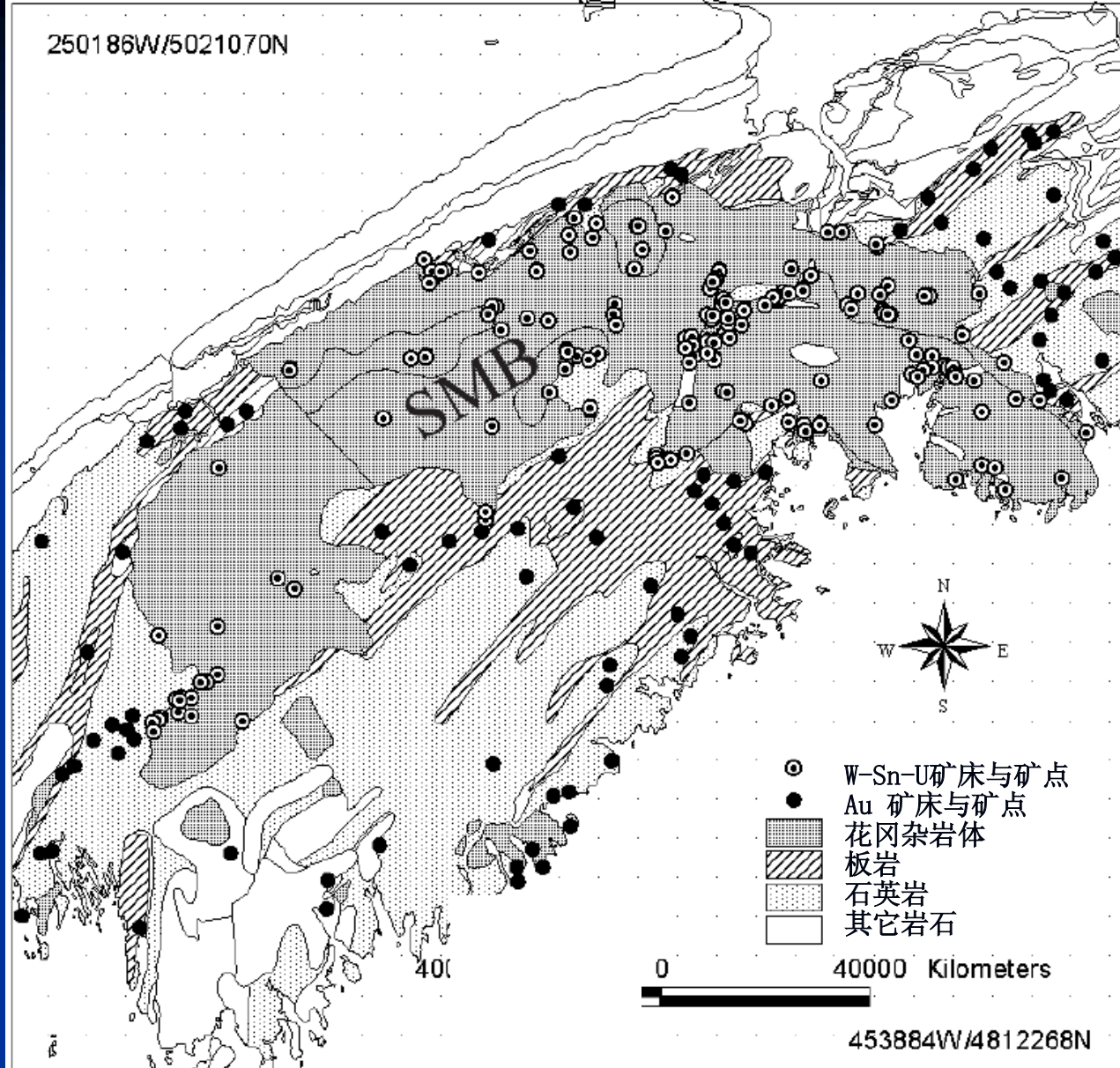


图2.1.2 研究区地质矿产图

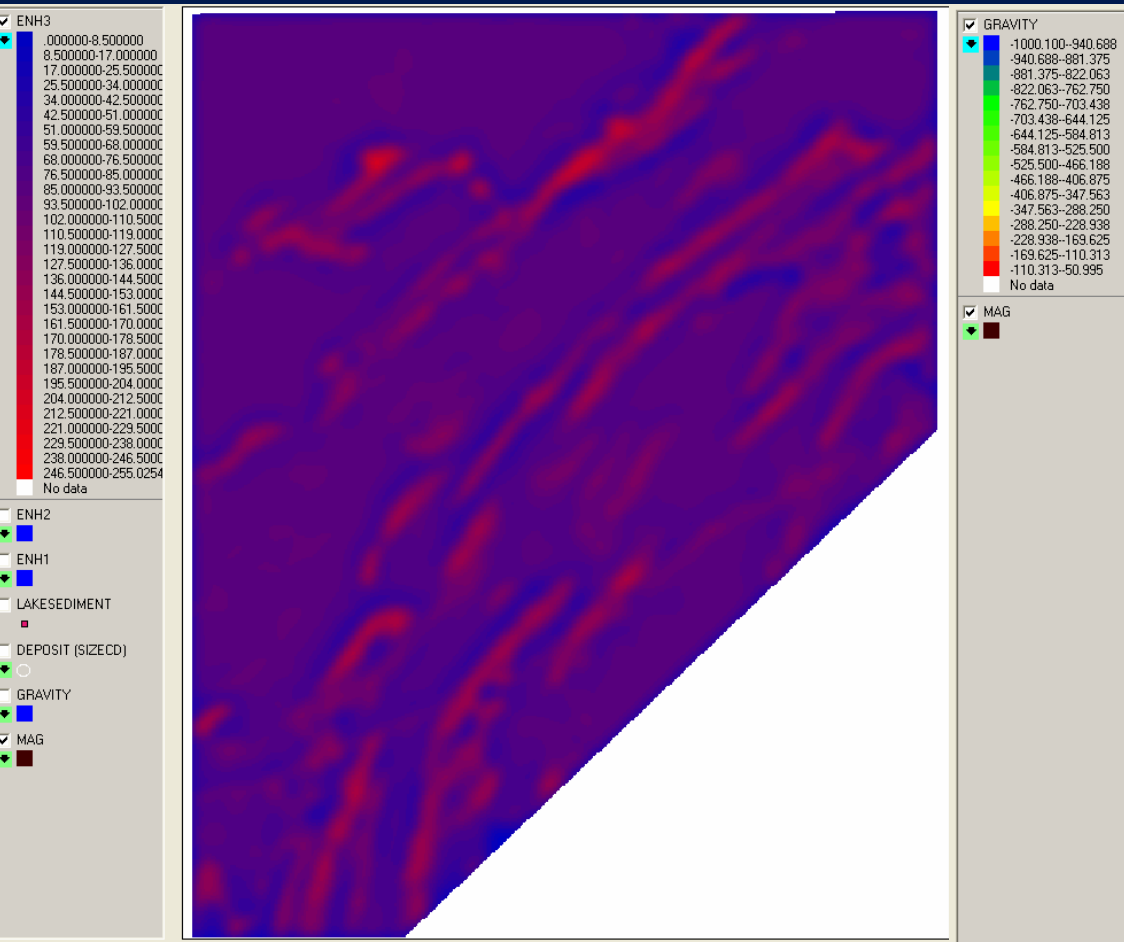


图2.2.2 航磁图

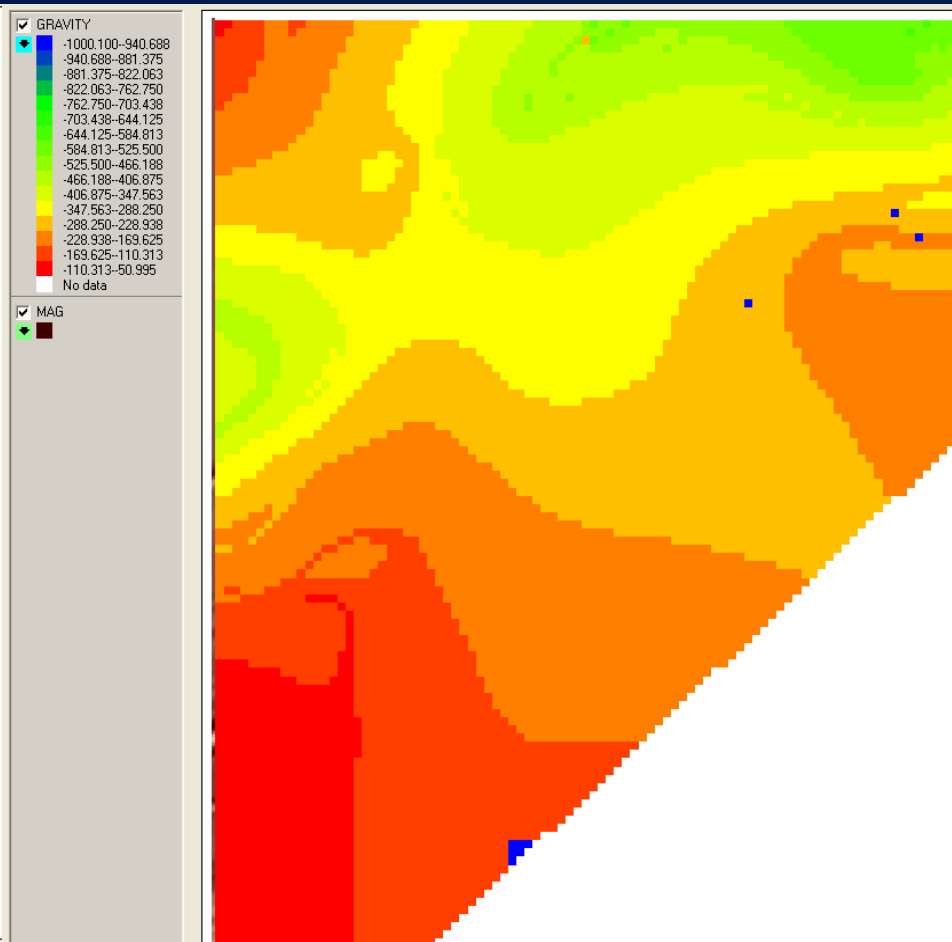
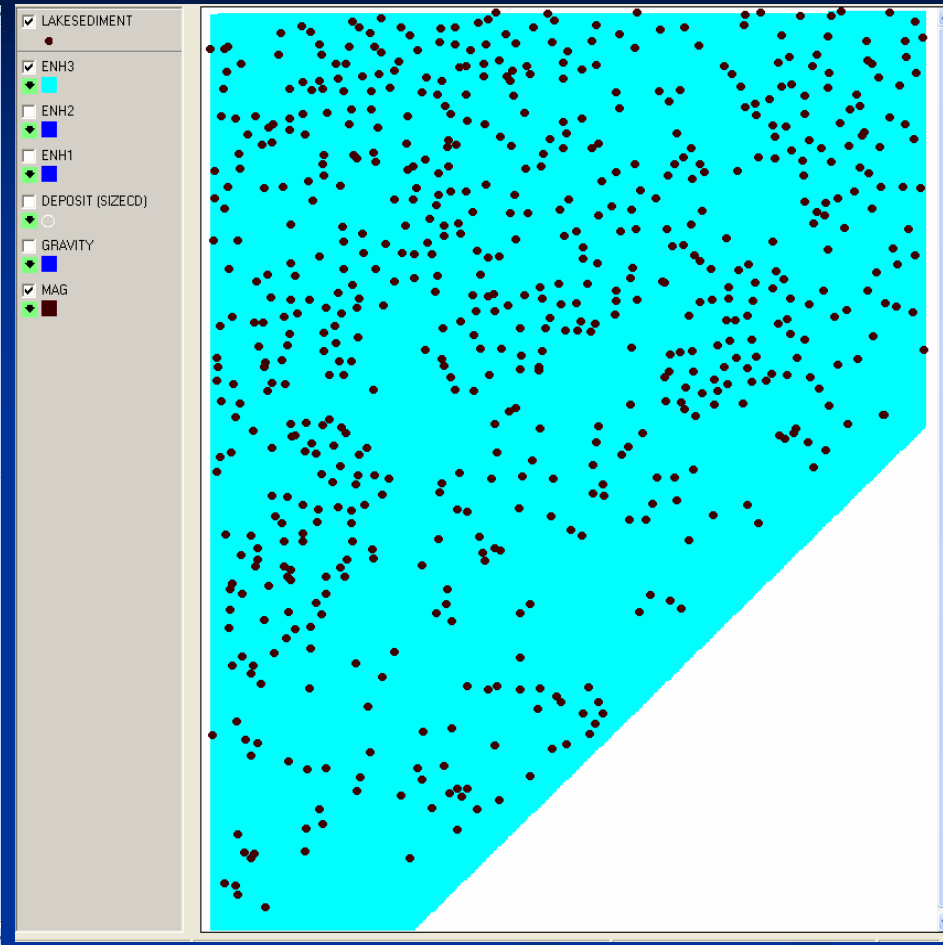
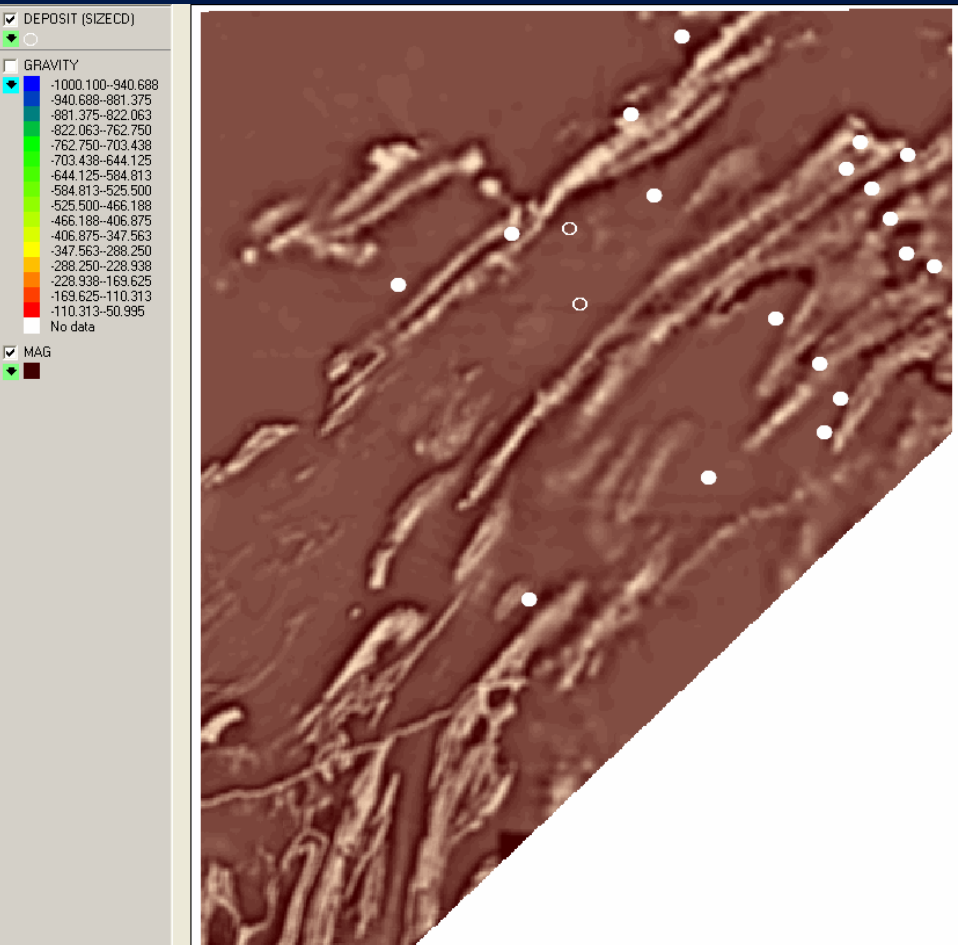


图2.2.3 重力异常图



金矿分布图，背景为航磁图 湖泊沉积物地球化学取样图

湖泊沉积物地球化学数据表

attribute of LAKESEDIMENT

|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|

1、地质预测要素的信息提取

1) 构造信息提取

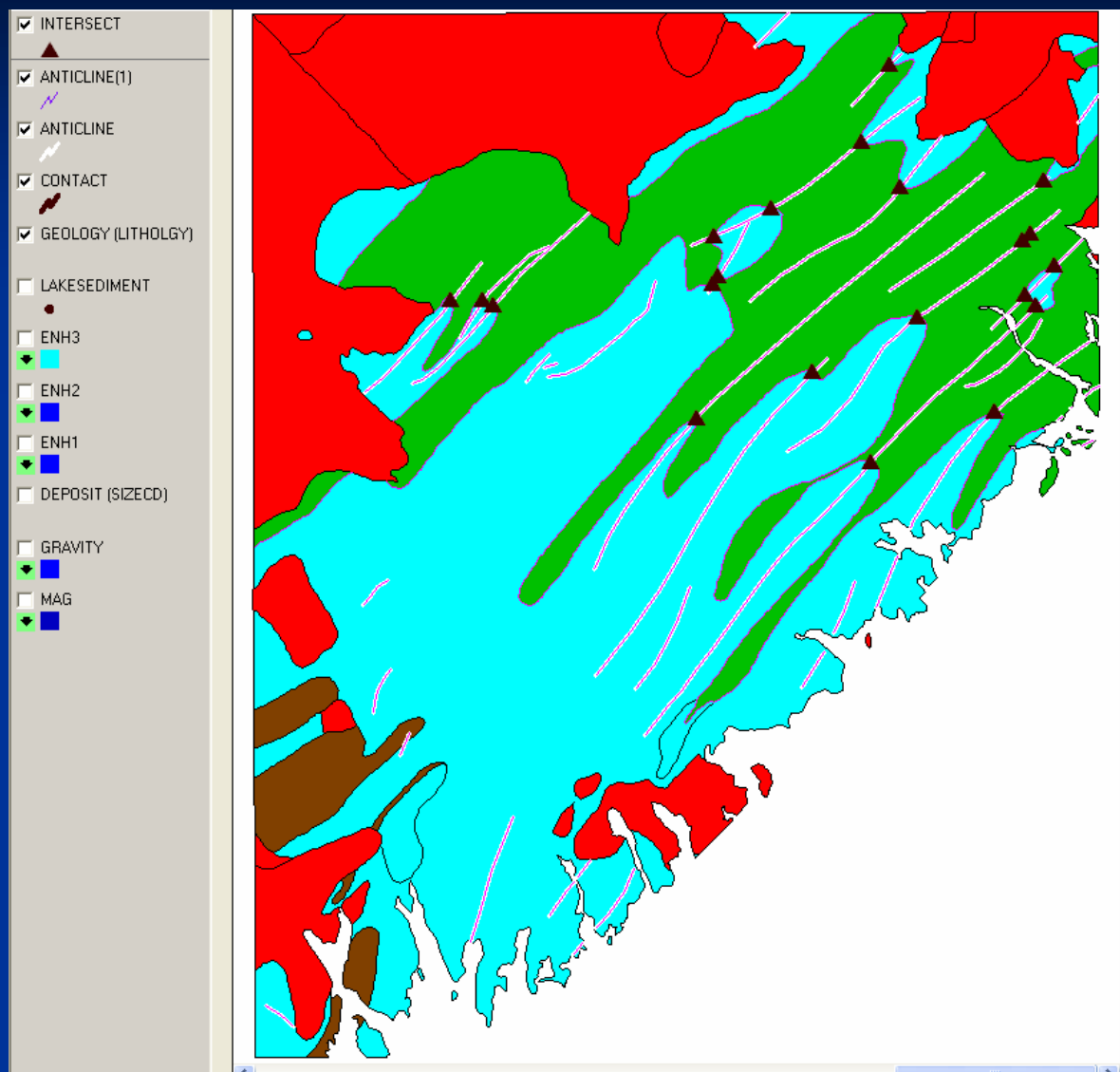
2) 岩体控矿信息提取

3) 地层信息提取

4) 矿化信息提取

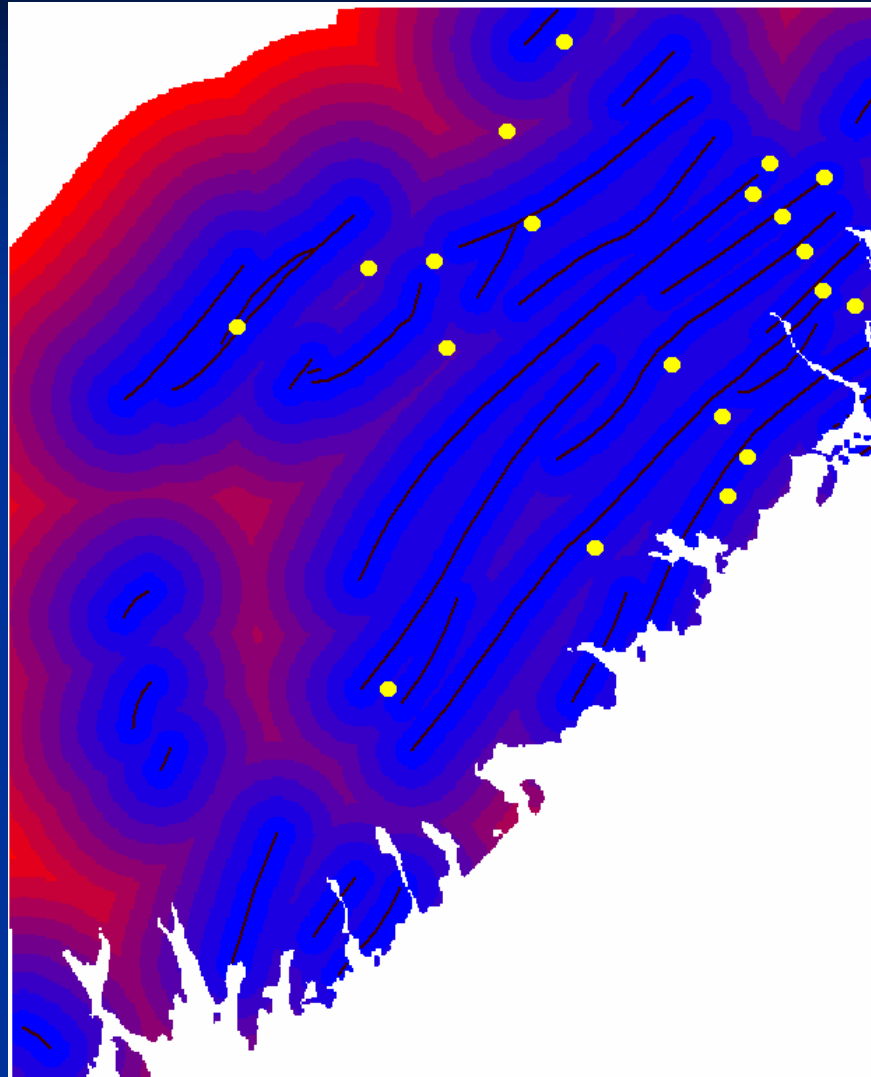
2、地球物理、地球化学、遥感信息获取

构造信息提取实例：构造与地层交汇点提取



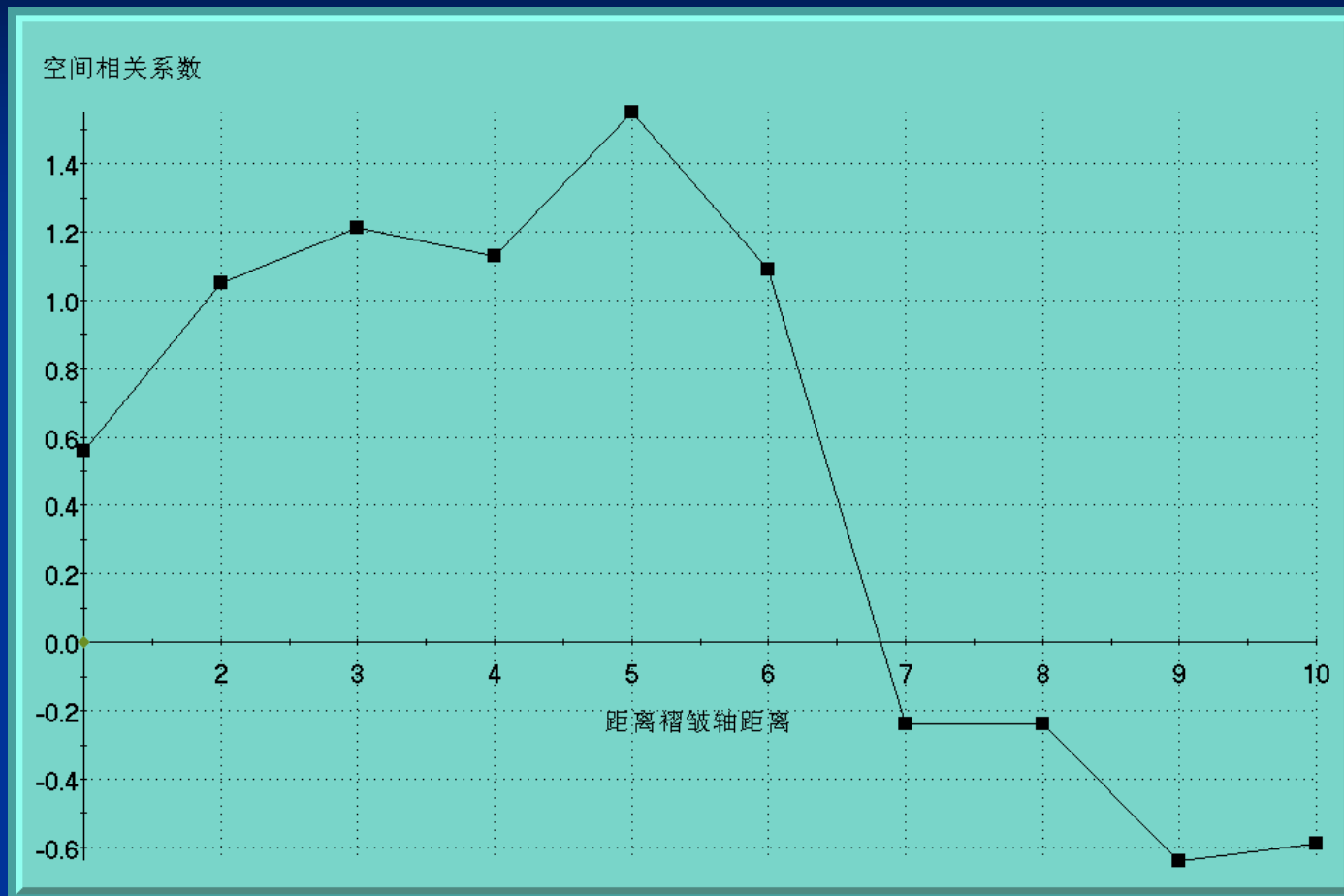
岩性界面图和背斜轴交汇点

确定背斜构造控矿宽度：



围绕褶皱轴形成间距为500米的缓冲带，黄点为矿床和矿点

确定背斜构造控矿宽度：



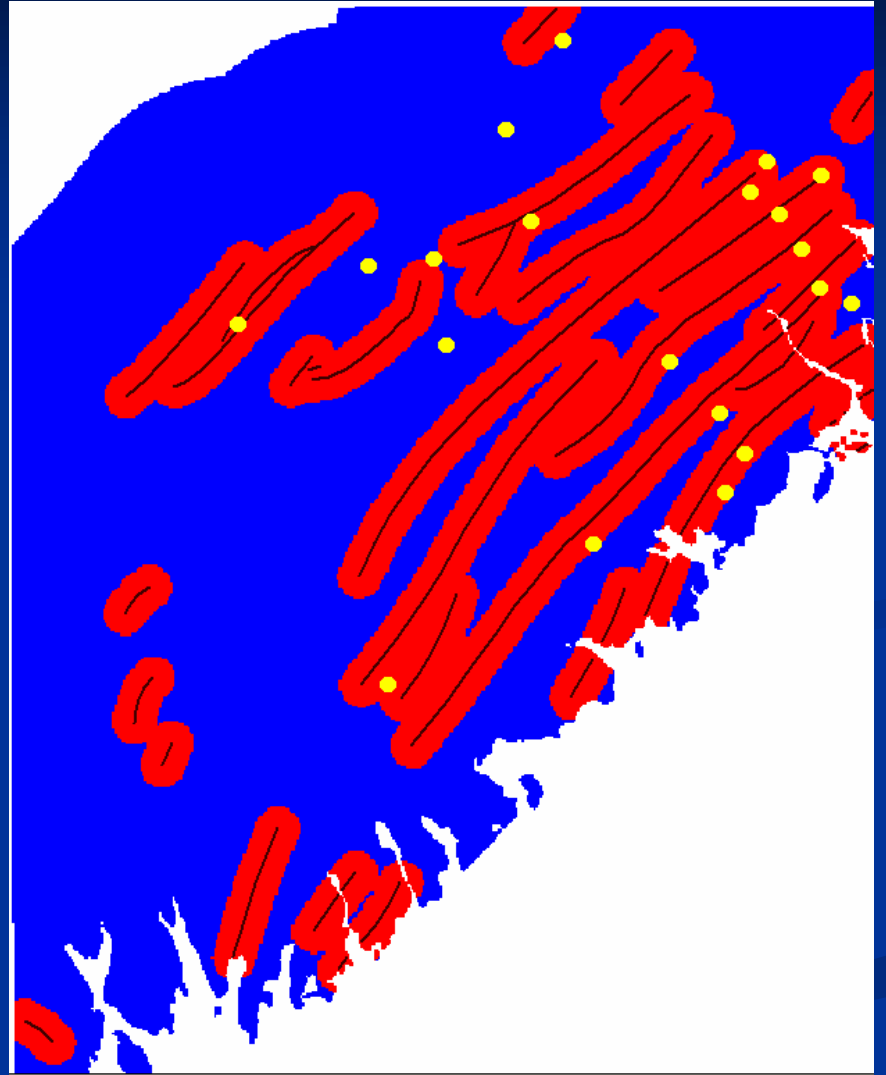
证据权法计算褶皱轴缓冲区于矿床空间分布
相关系数图，2.5公里以内为最佳相关距离。

确定背斜构造控矿宽度:

$$P(D) = 0.00258 = 20/7779.9$$

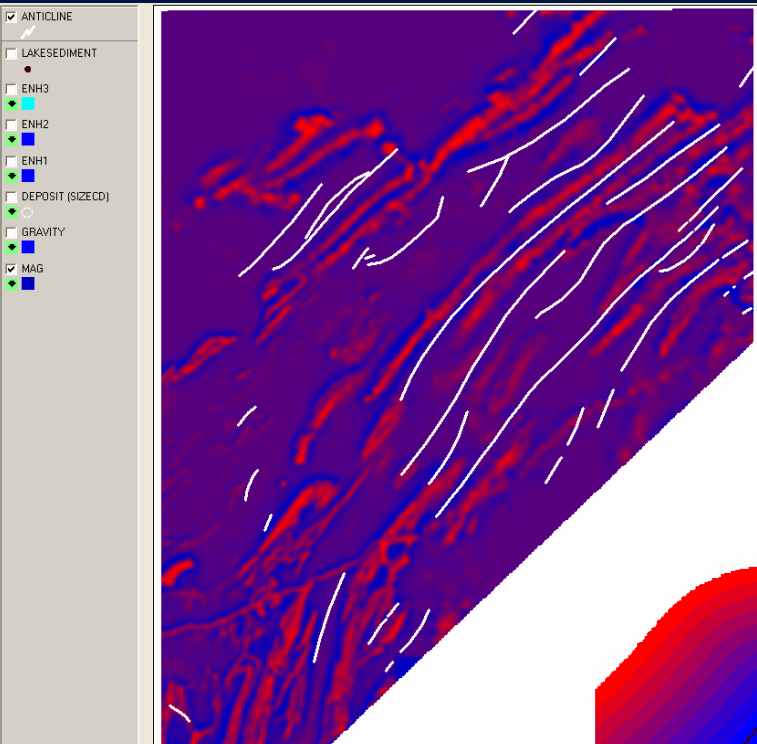
$$P(D|A) = 15.5/3065 = 0.0050$$

$$P(D|\text{not}A) = 4.5/4714 = 0.000963$$

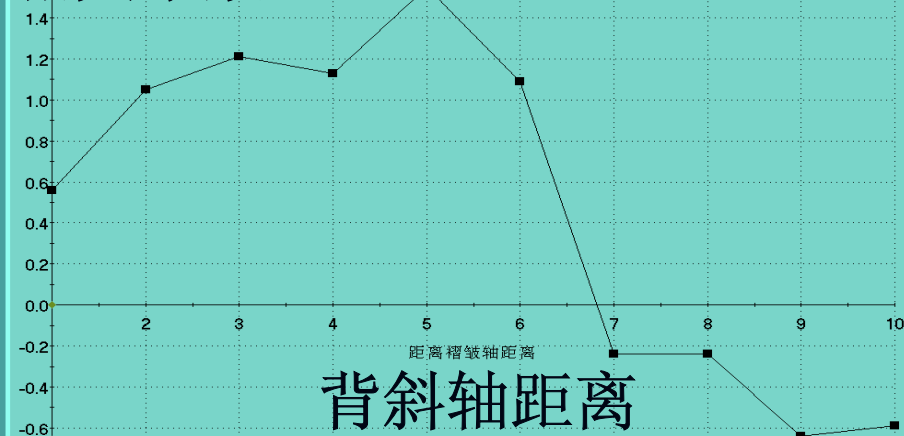


最佳缓冲区控矿要素图层

采用奇异指数确定最优成矿预测要素



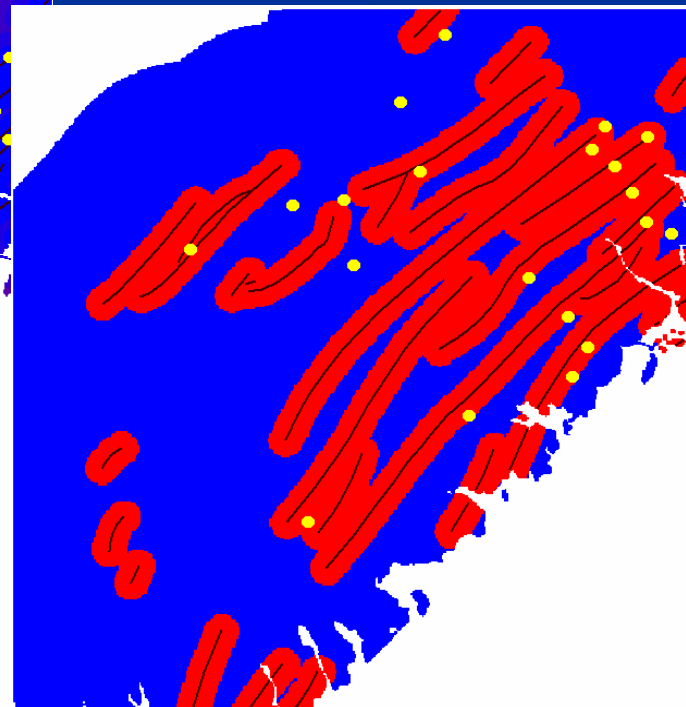
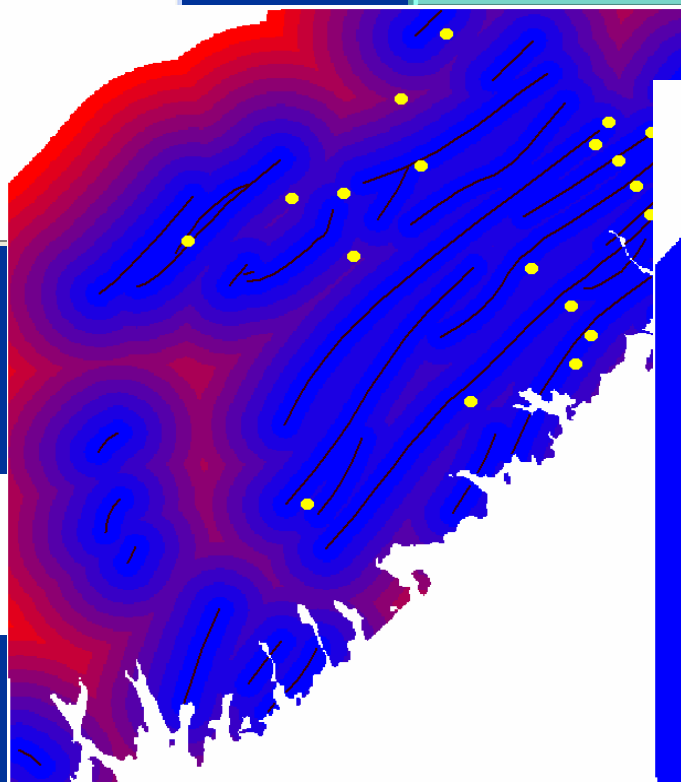
相关系数



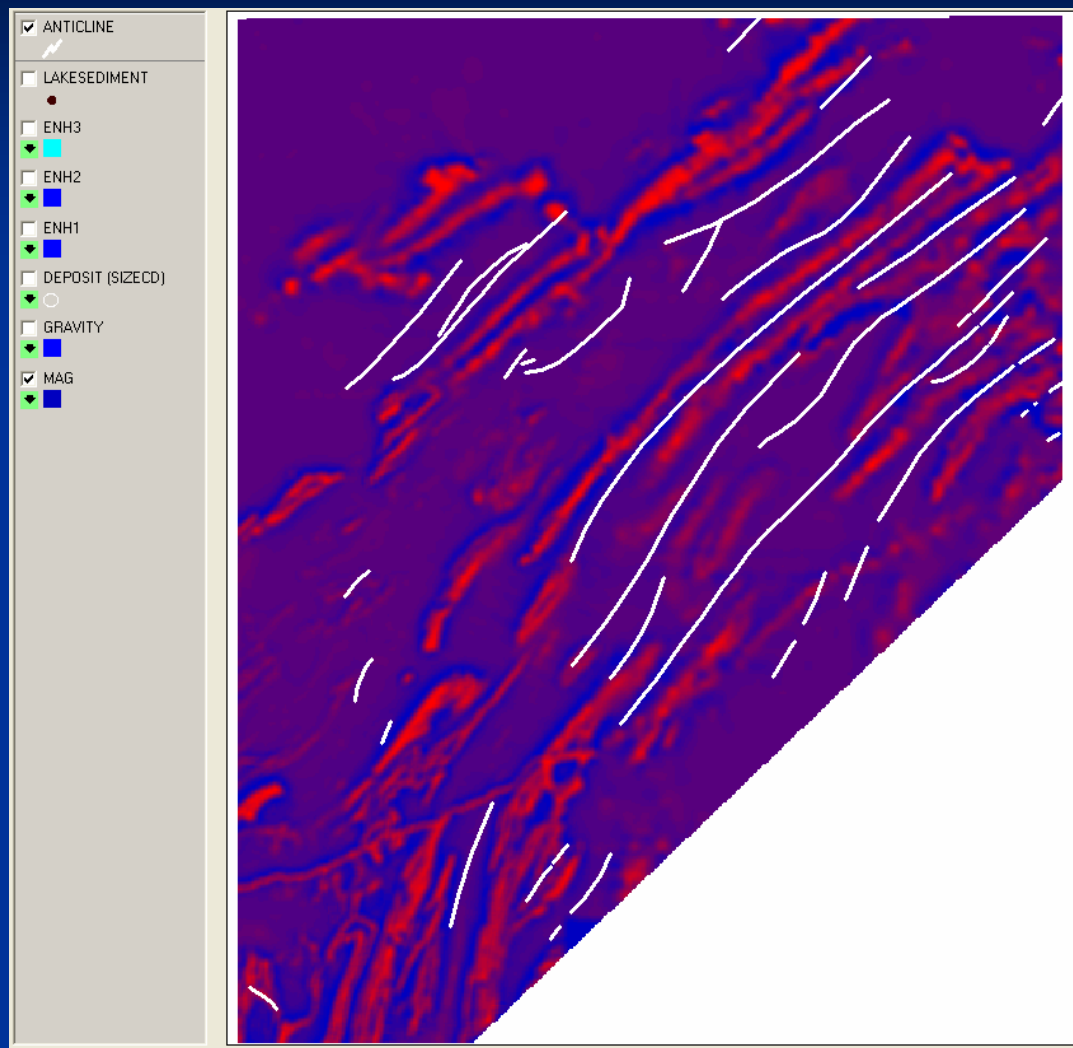
$$\alpha(A) = \log P(A|D) / \log P(A)$$

$$\alpha(\bar{A}) = \log P(\bar{A}|D) / \log P(\bar{A})$$

(Cheng, 2007)



地球物理信息提取实例：

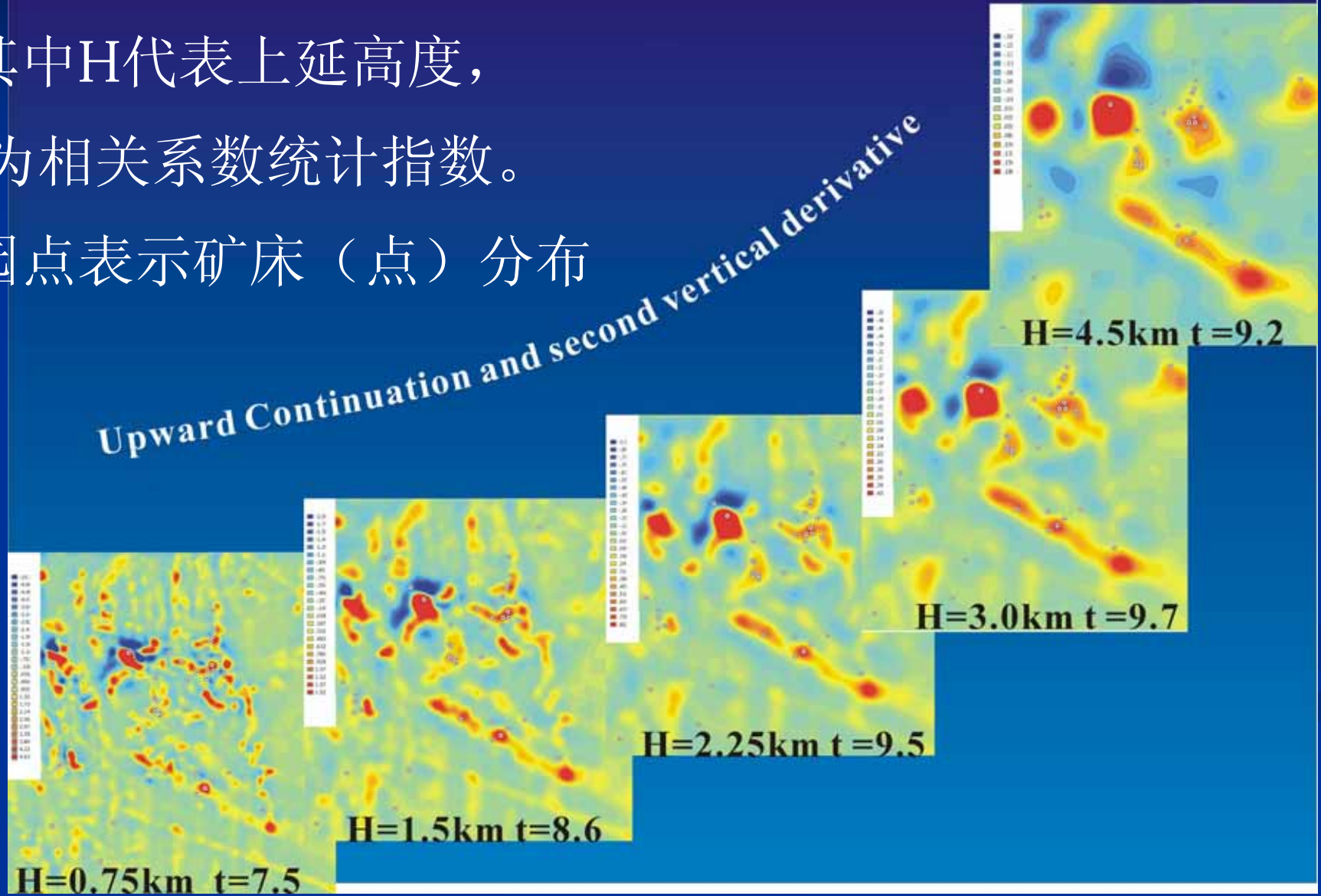


航磁解疑背斜轴分布

从左到右图反映了航磁向上延拓并求垂向二阶导数图
与矿床空间分布相关关系图。

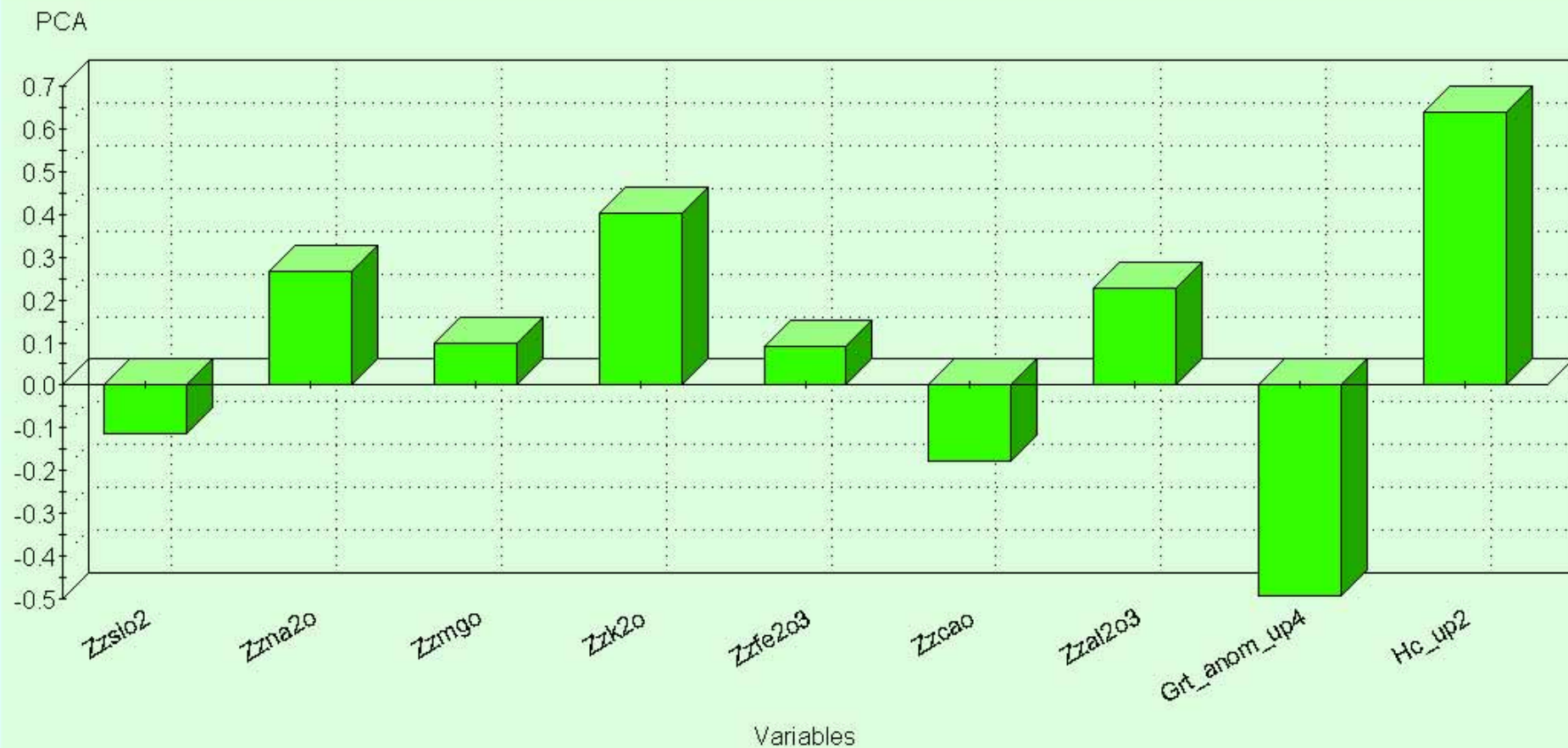
其中H代表上延高度，
t为相关系数统计指数。

园点表示矿床（点）分布

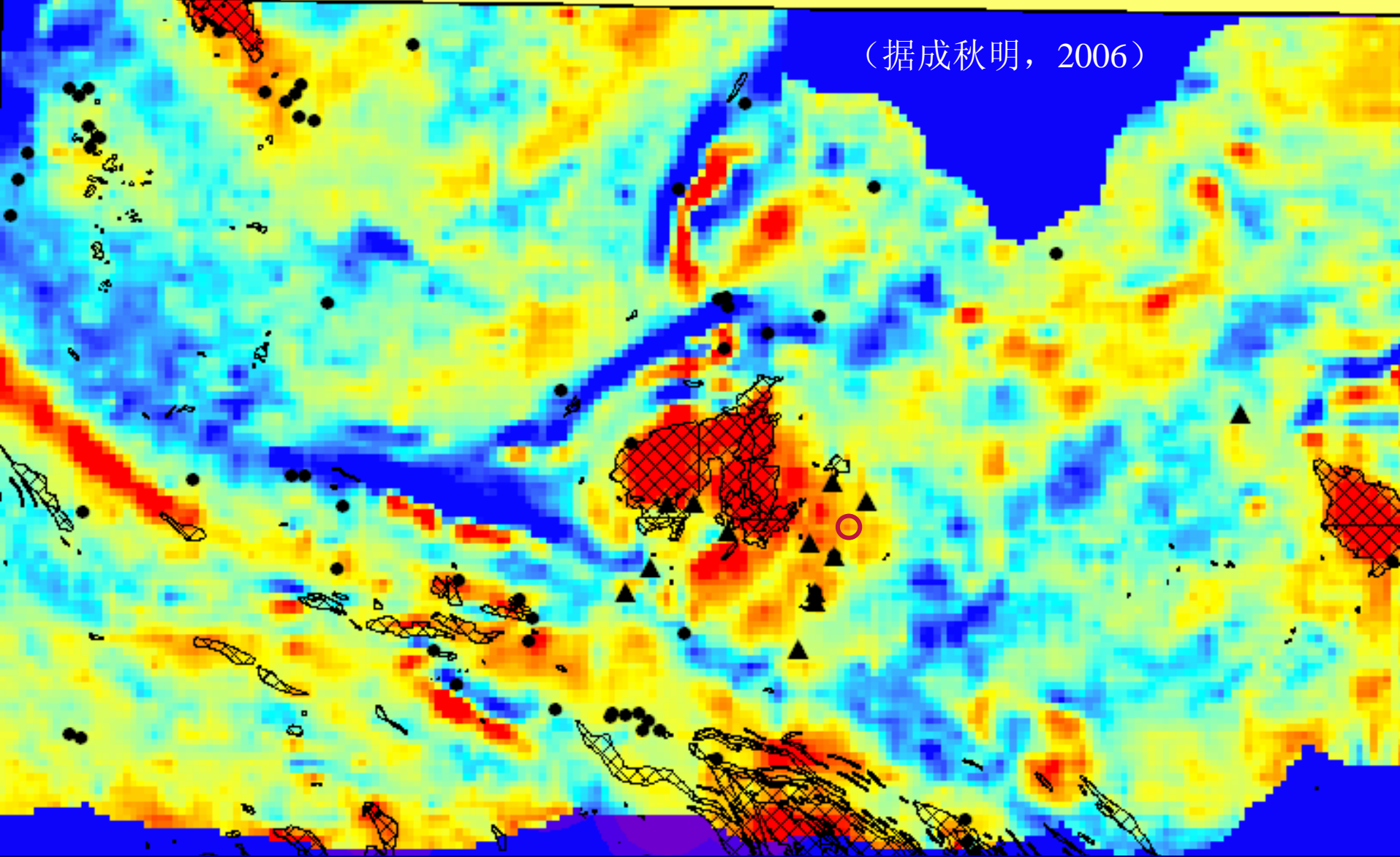




第三空间加权主成分

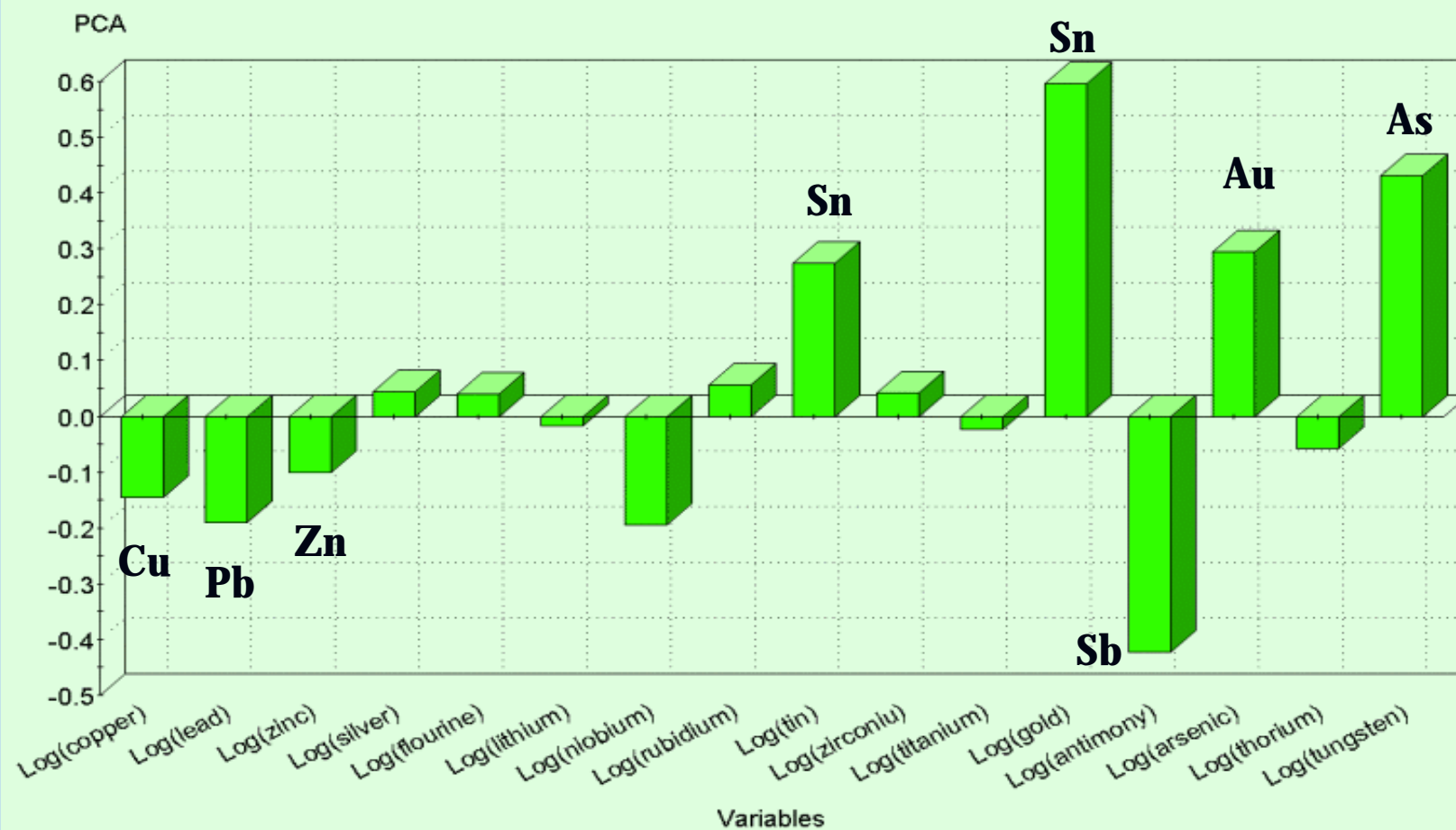
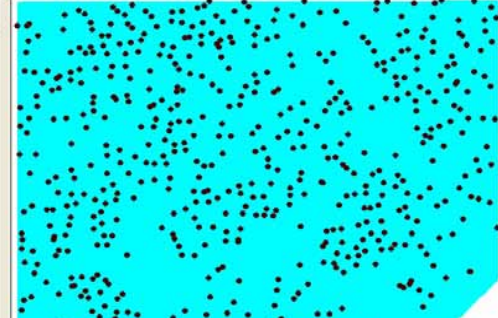


(据成秋明, 2006)



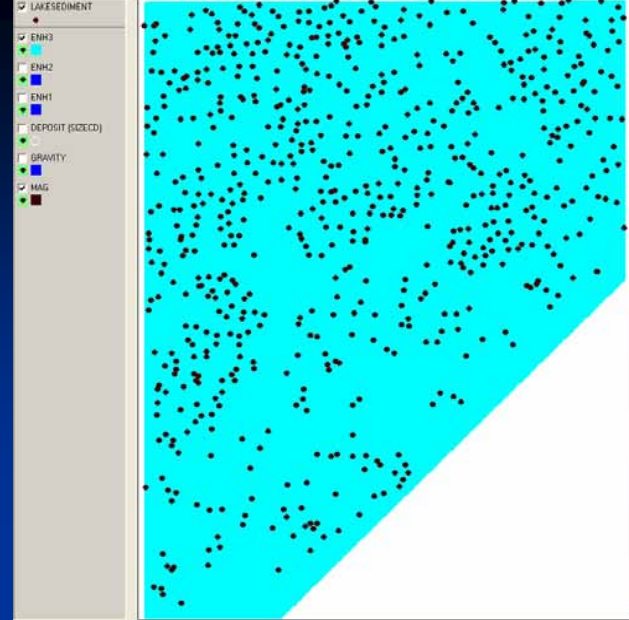
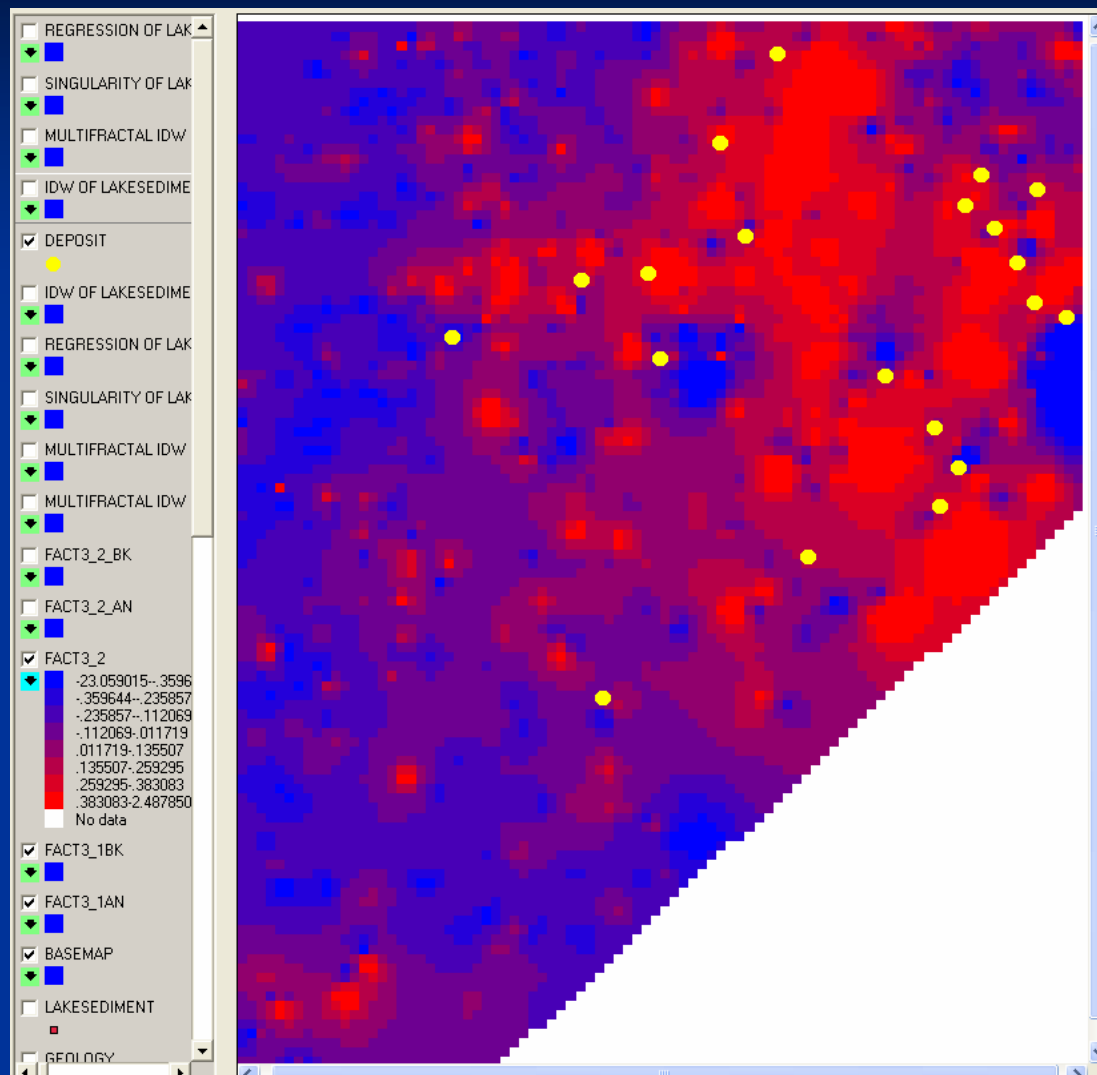
加权主成分分析、 $N-\lambda$ 异常分解多重分形方法
用于常量元素与重磁混合模型识别岩体

地球化学异常信息提取实例：



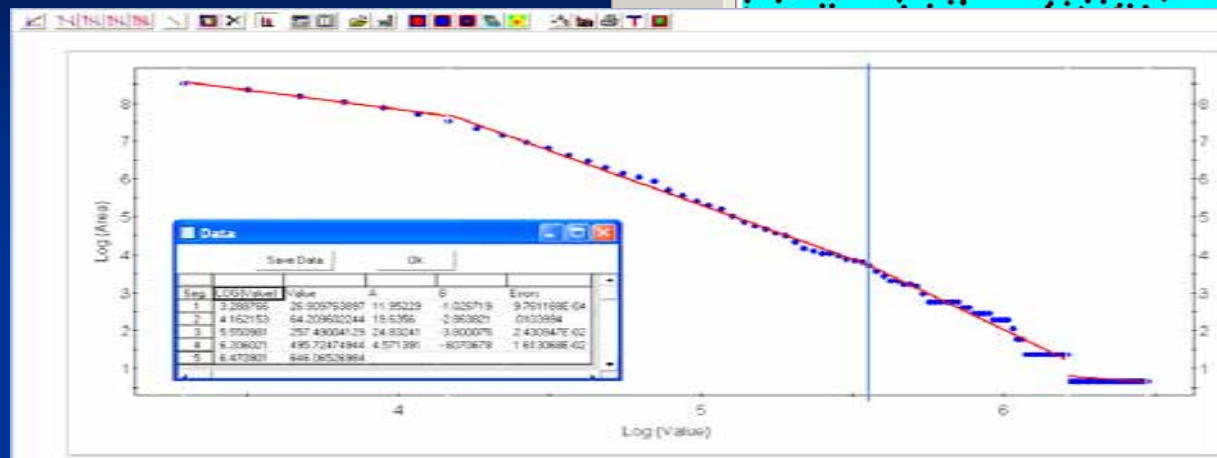
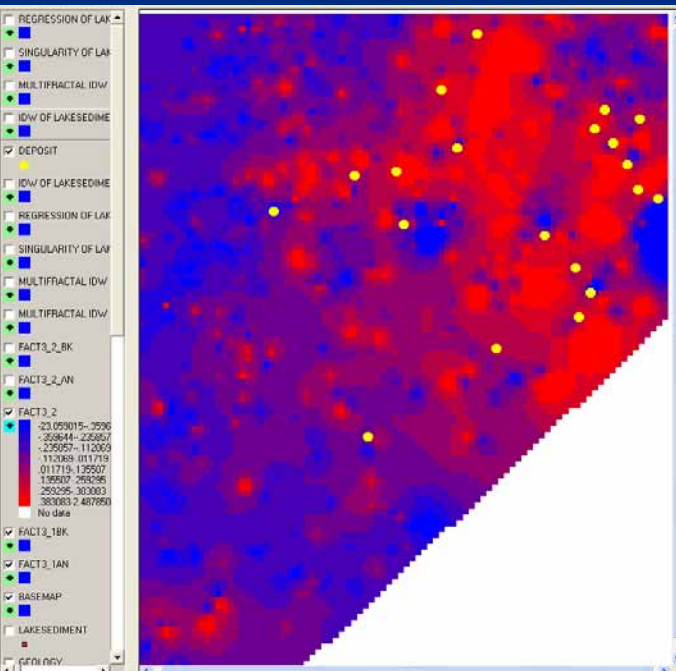
第三主成份元素组合

地球化学异常信息提取实例：

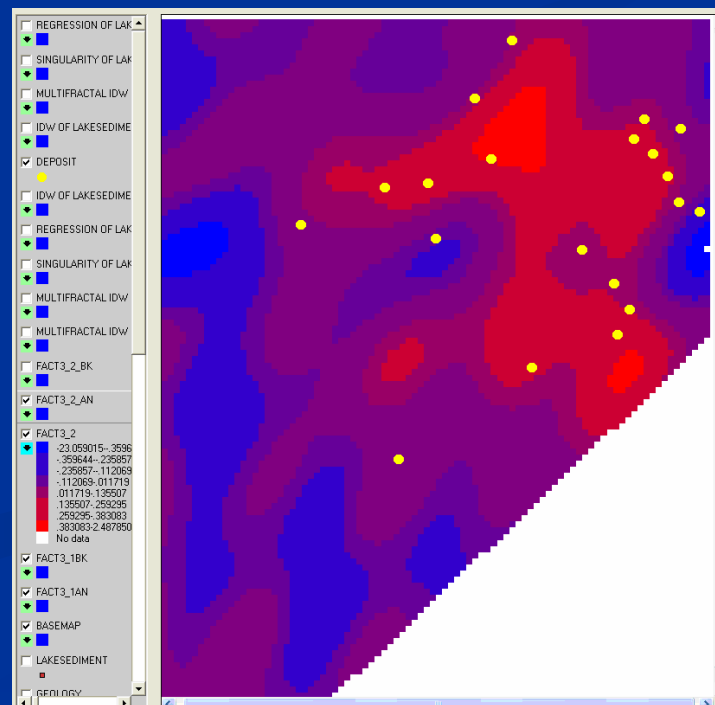


第三主成份第三主成份得分图

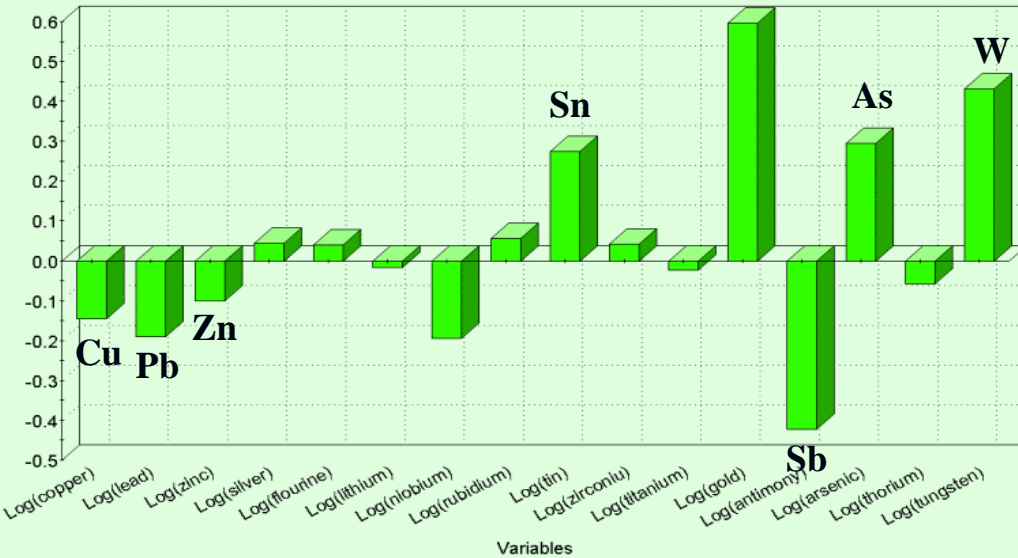
地球化学异常分解 S-A方法



分解异常图

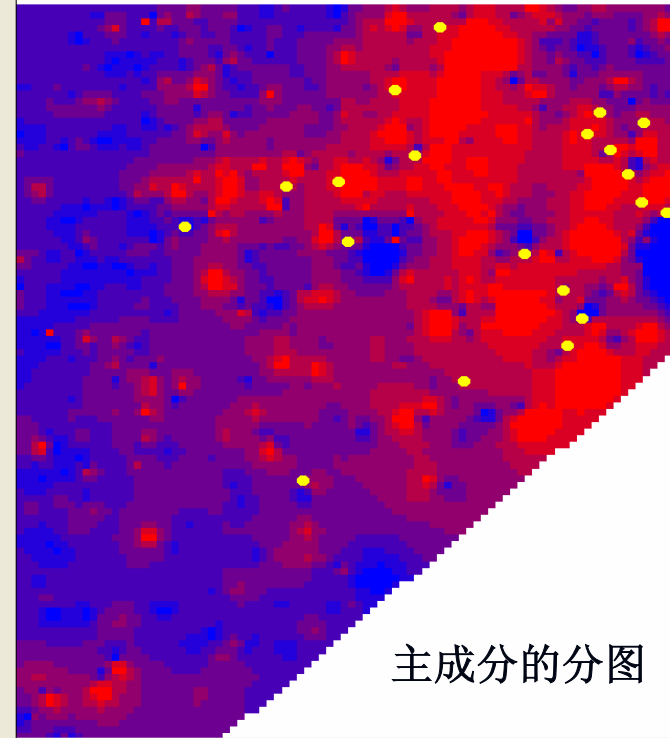


PCA 第三主成分元素组合



- ☐ REGRESSION OF LAK
- ☐ SINGULARITY OF LAK
- ☐ MULTIFRACTAL IDW
- ☐ IDW OF LAKESEDIME
- ☒ DEPOSIT
- ☐ IDW OF LAKESEDIME
- ☐ REGRESSION OF LAK
- ☐ SINGULARITY OF LAK
- ☐ MULTIFRACTAL IDW
- ☐ MULTIFRACTAL IDW
- ☐ FACT3_2_BK
- ☐ FACT3_2_AN
- ☒ FACT3_2
- ☒ FACT3_1BK
- ☒ FACT3_1AN
- ☒ BASEMAP
- ☐ LAKESEDIMENT
- ☐ GEOLOGY

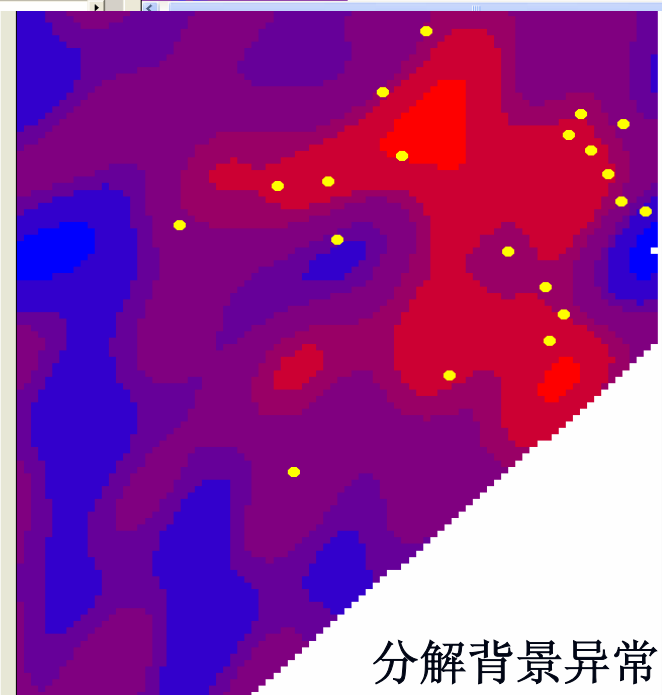
-23.059015--3596
-359644--235857
-235857--112069
-112069--011719
011719--135507
135507--259295
259295--383083
383083--2.487850
No data



主成分的分图

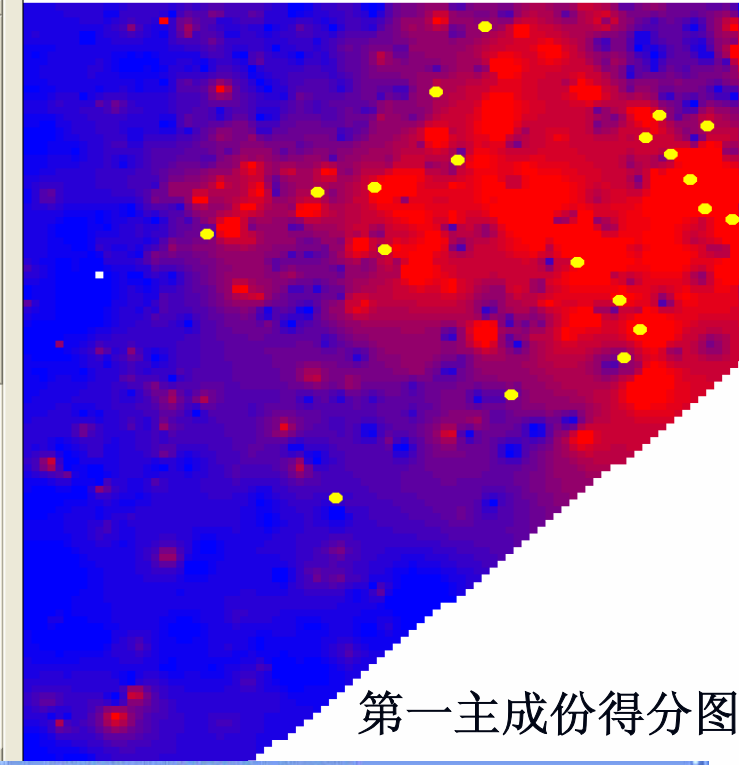
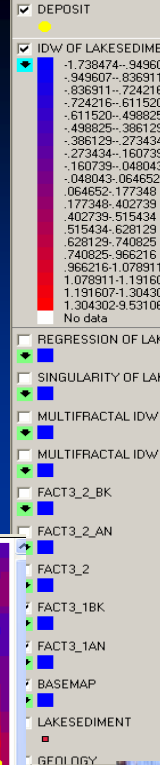
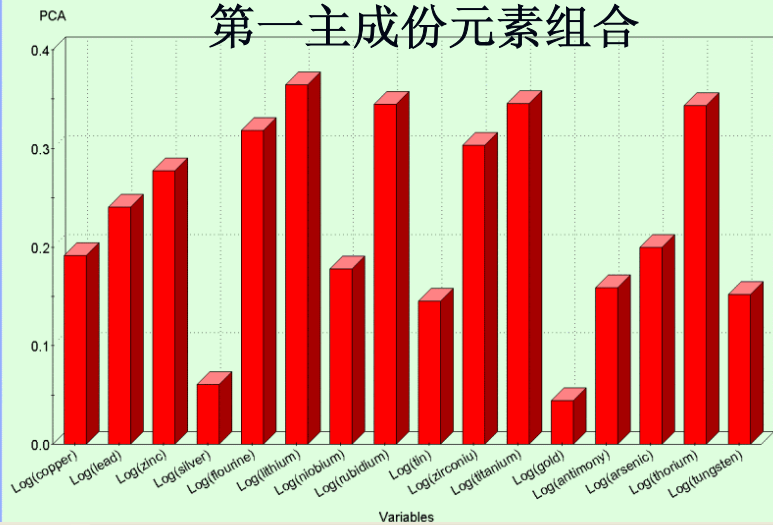
第三成矿因子
 $\text{Sn} + \text{Au} + \text{As} + \text{W}$
 $-\text{Cu} - \text{Pb} - \text{Zn}$

- ☐ REGRESSION OF LAK
- ☐ SINGULARITY OF LAK
- ☐ MULTIFRACTAL IDW
- ☐ IDW OF LAKESEDIME
- ☒ DEPOSIT
- ☐ IDW OF LAKESEDIME
- ☐ REGRESSION OF LAK
- ☐ SINGULARITY OF LAK
- ☐ MULTIFRACTAL IDW
- ☐ MULTIFRACTAL IDW
- ☐ FACT3_2_BK
- ☒ FACT3_2_AN
- ☒ FACT3_2
- ☒ FACT3_1BK
- ☒ FACT3_1AN
- ☒ BASEMAP
- ☐ LAKESEDIMENT
- ☐ GEOLOGY

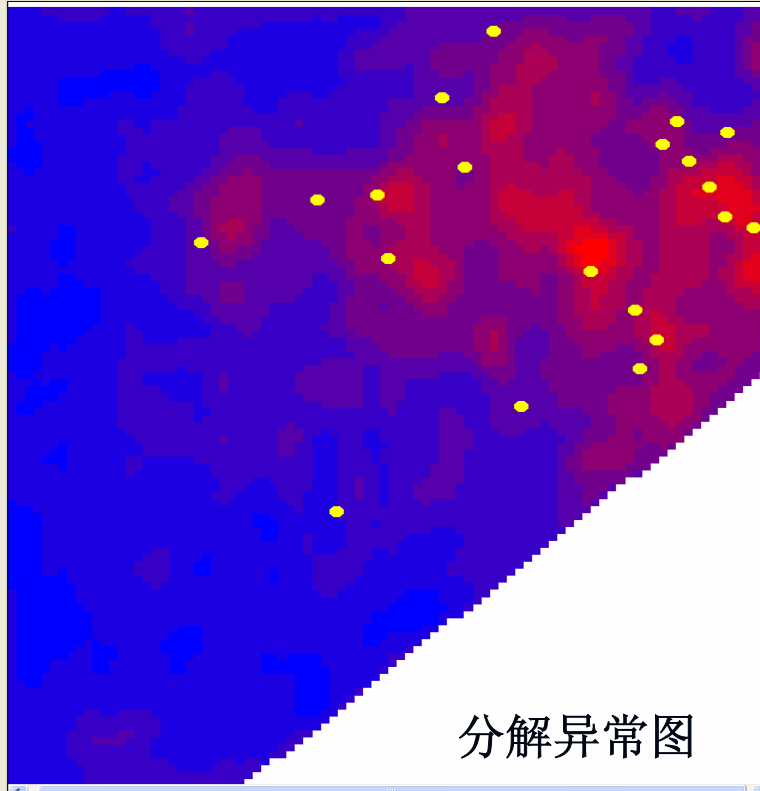
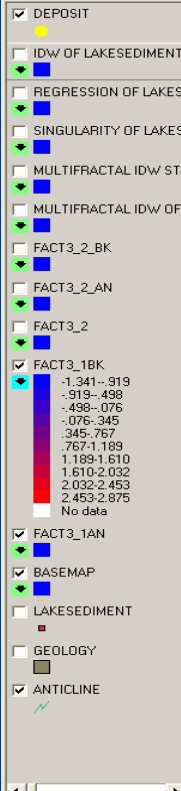


分解背景异常

第一主成份元素组合

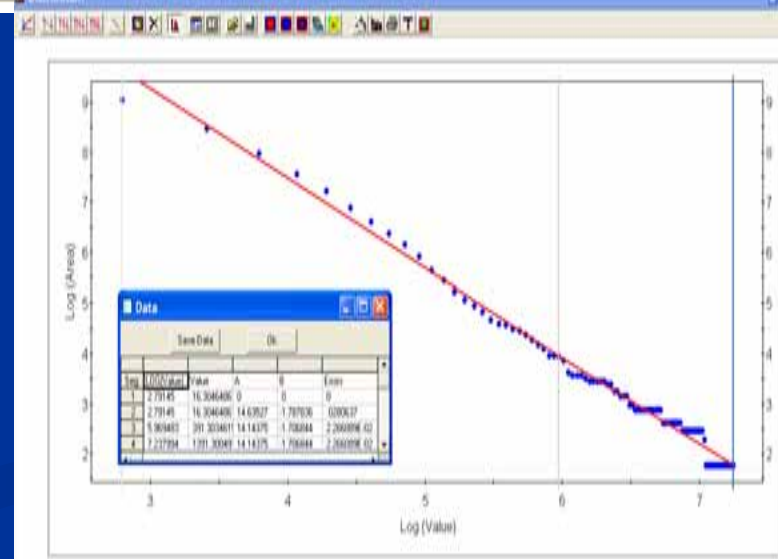


第一主成份得分图



分解异常图

黄色园点代表金矿床和矿点

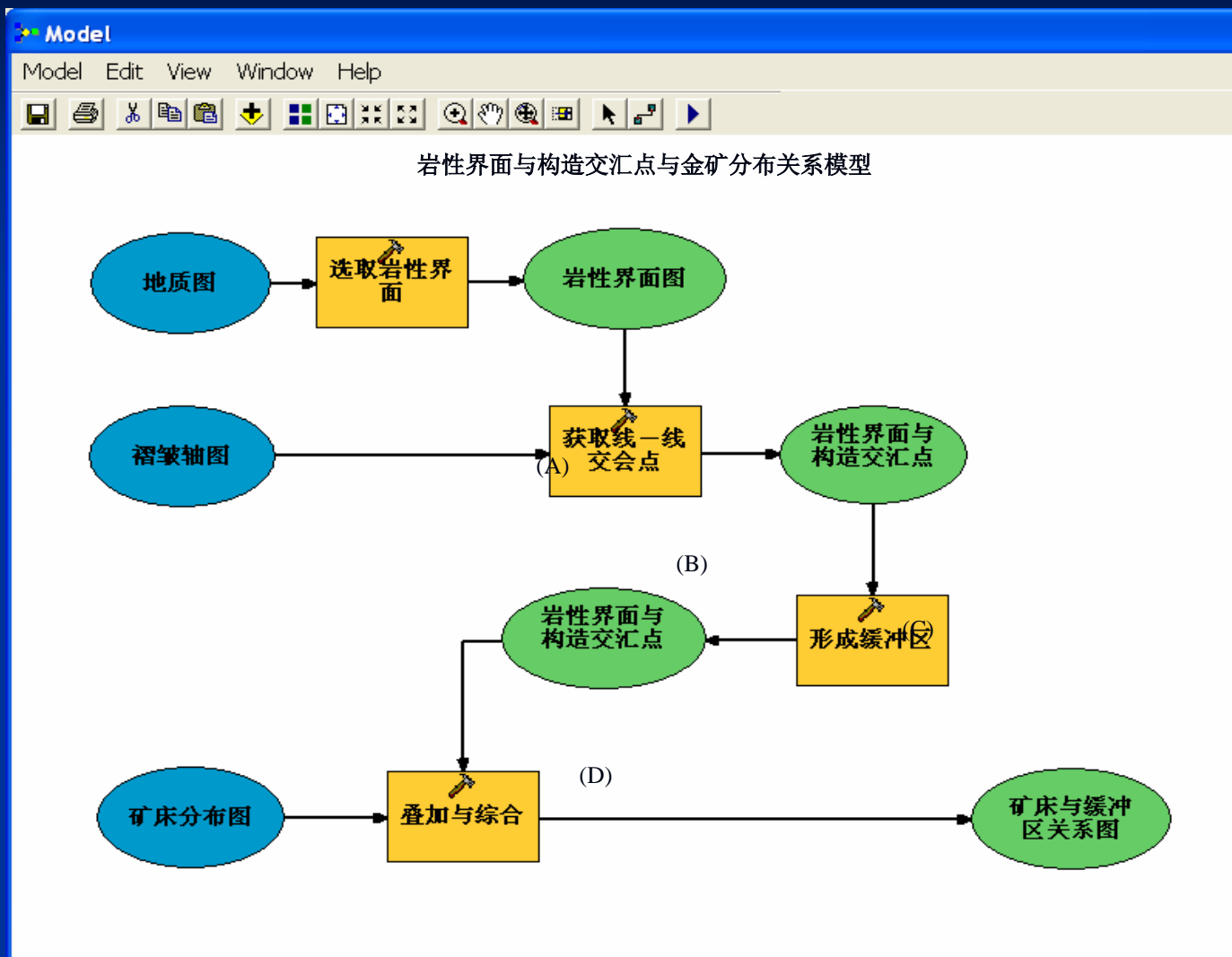


S-A多重分形异常分解图

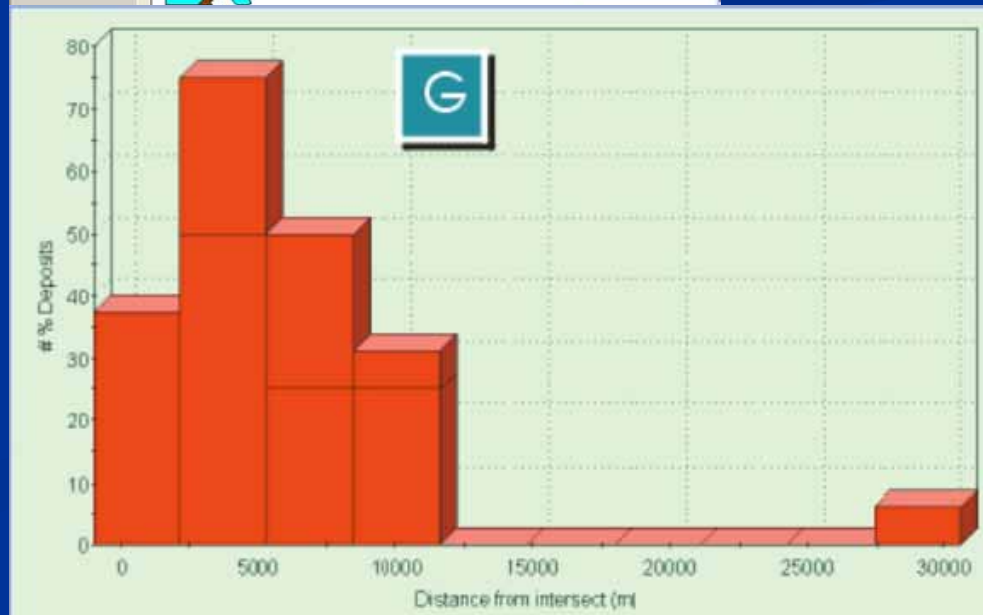
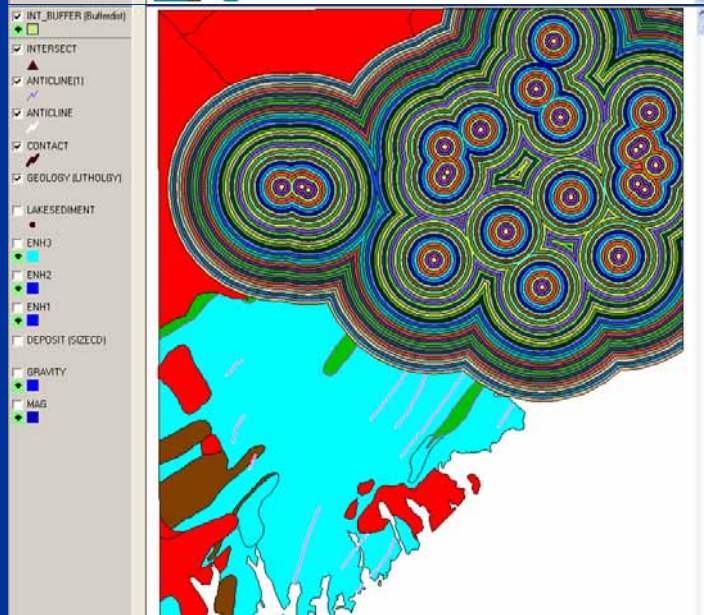
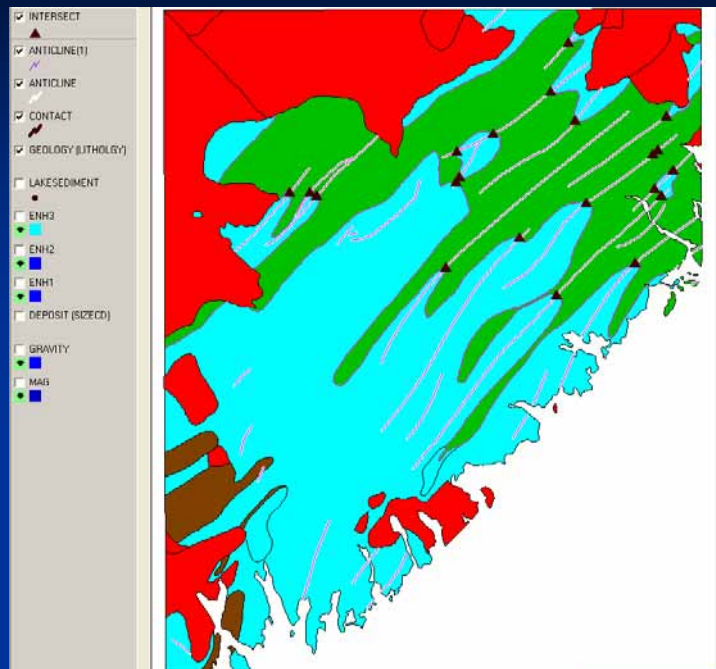
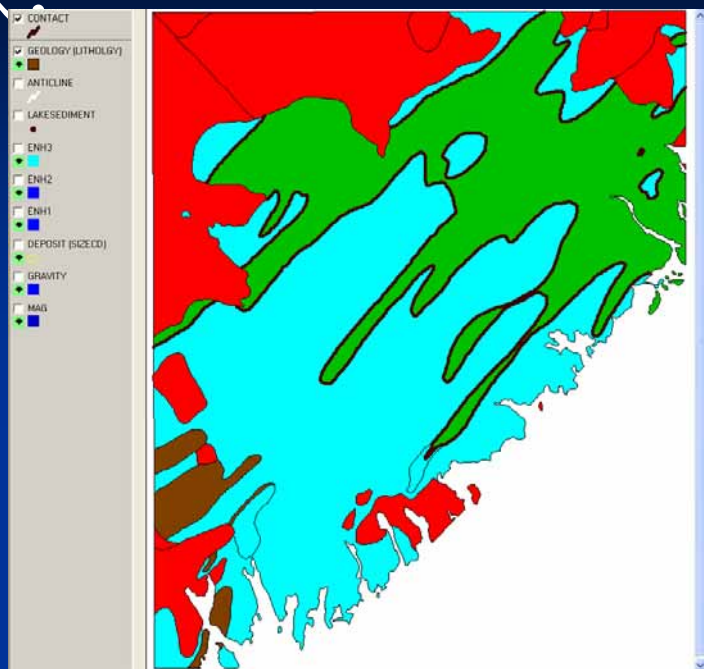
3 成矿规律研究与评价模型建立

- 1、成矿规律和概念模型的建立（地质）
- 2、找矿模型与建模技术

建模技术

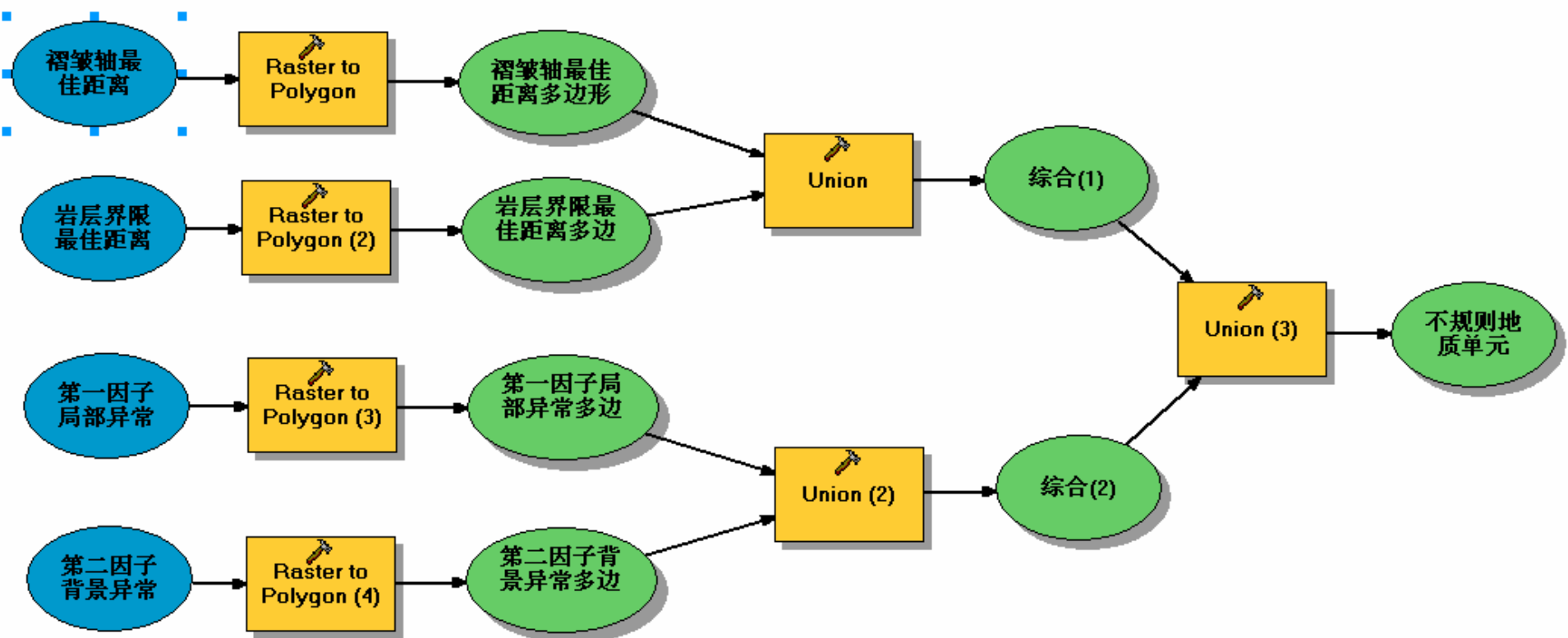


取:



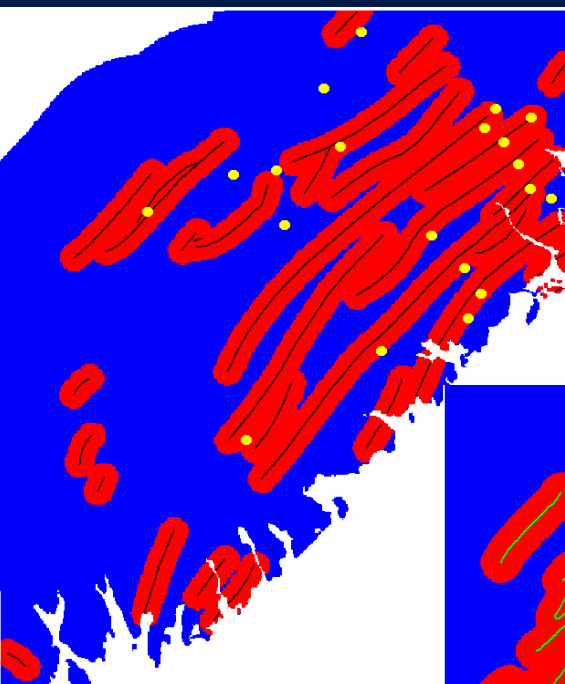
4 预测要素与要素组合的数字化、定量化

5 预测单元划分

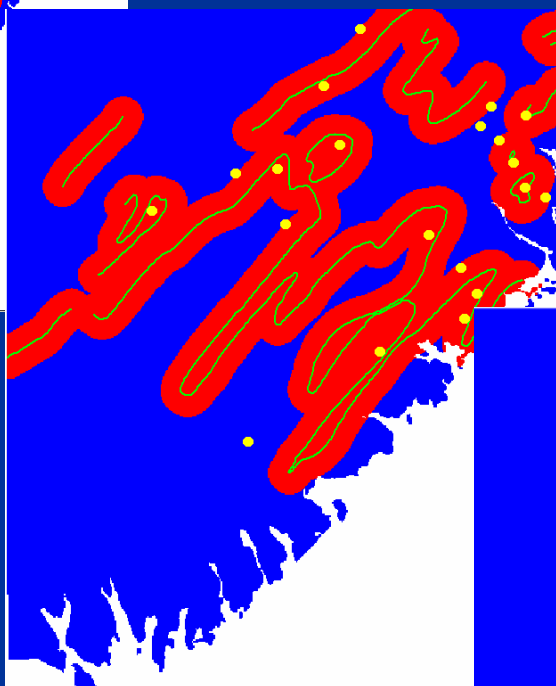


不规则地质单元划分模型

预测要素叠加模型与预测单元形成

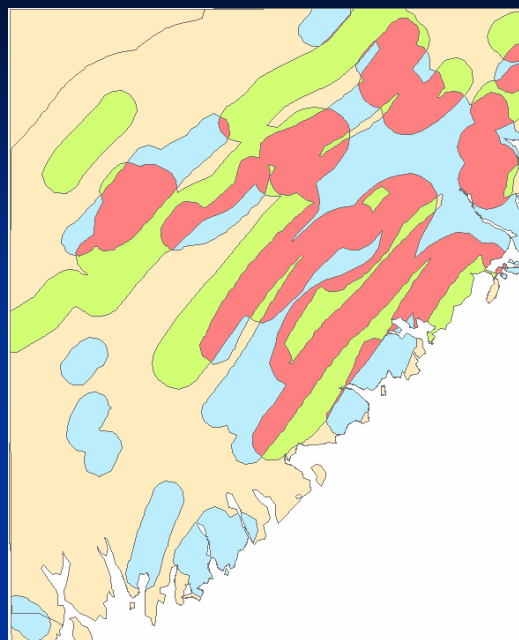


背斜轴最佳距离

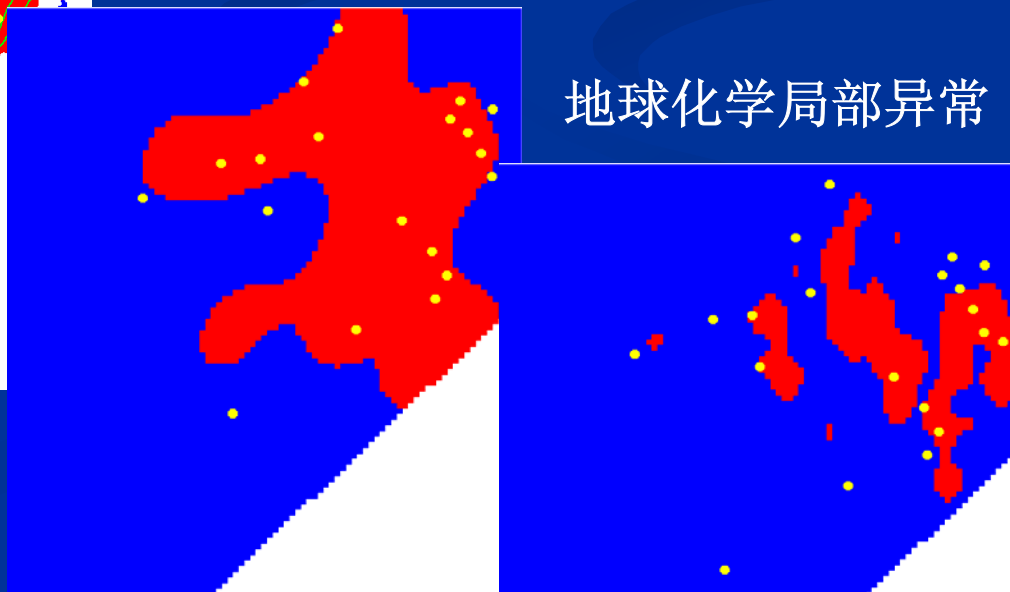


岩层界面最佳距离

地球化学背景异常



地球化学局部异常



6 预测变量的构置、优化

1、数据变换方法

2、预测变量的分类、组合与优化

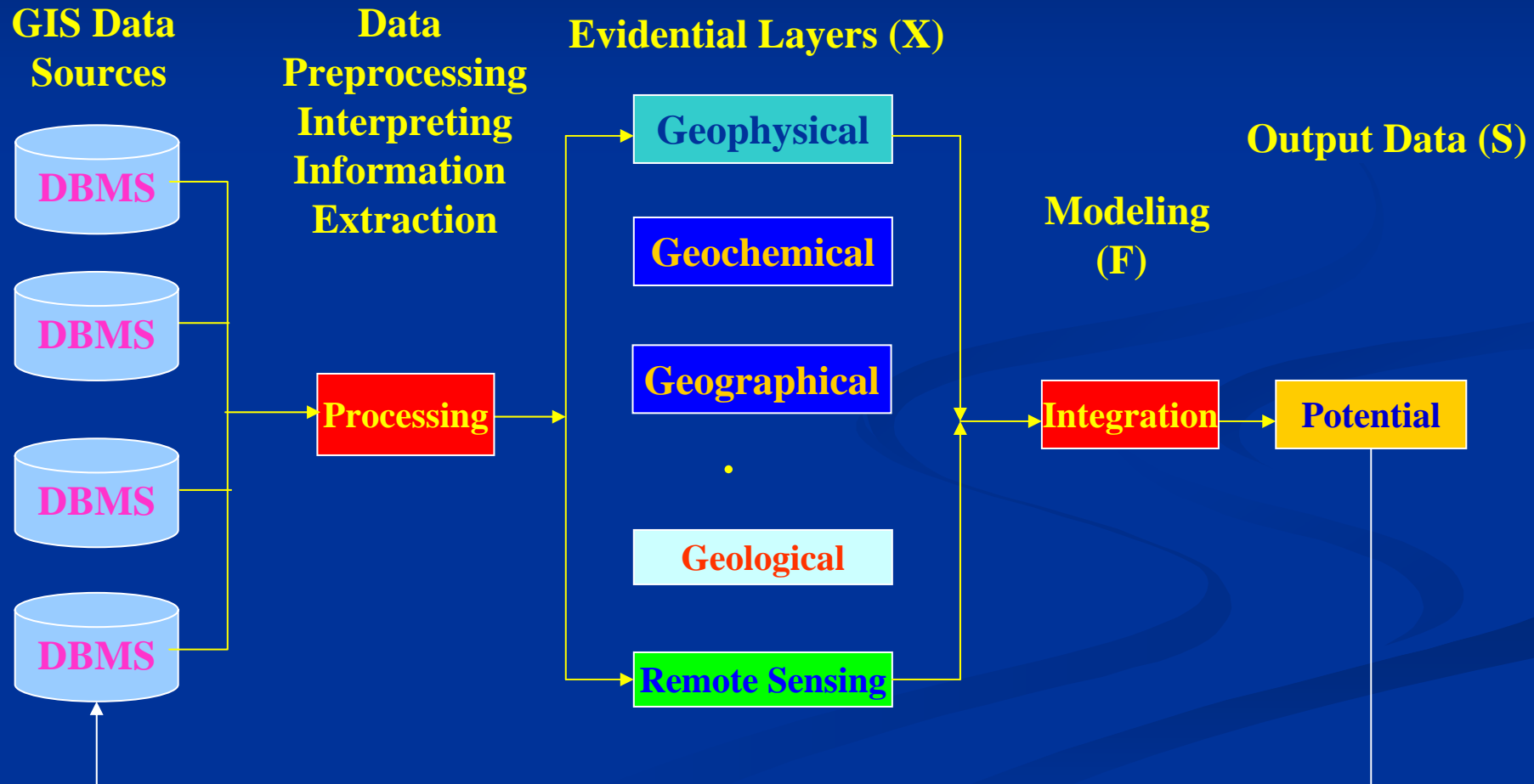
采用 GIS中的逻辑查询语言可以自动的实现地质人员常常感兴趣的要素组合任务，如地质人员提出的“岩体外接触带1公里范围(A)、与构造带交汇(C)、出现高钾异常(K)和低钙异常(Ca)”的部位，就可以通过组合变量的方法实现：
“A and C and K not Ca”。

7 成矿有利度计算与预测区圈定

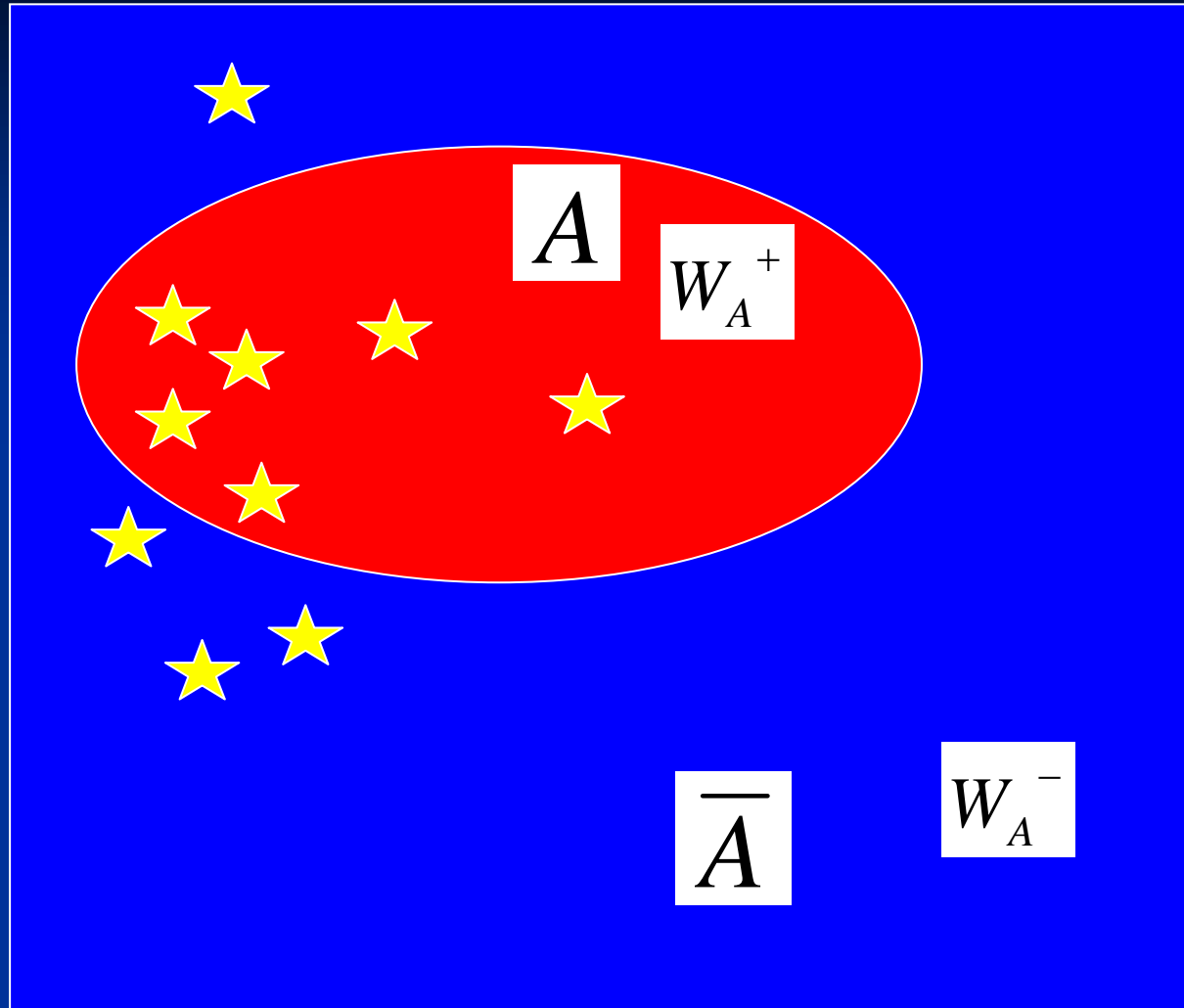
- 1、单元成矿有利度的计算
- 2、有利度计算方法基本原理和方法选择原则
- 3、预测区的圈定和评价

Spatial Decision Support System (SDSS)

GIS Data Integration for Prediction

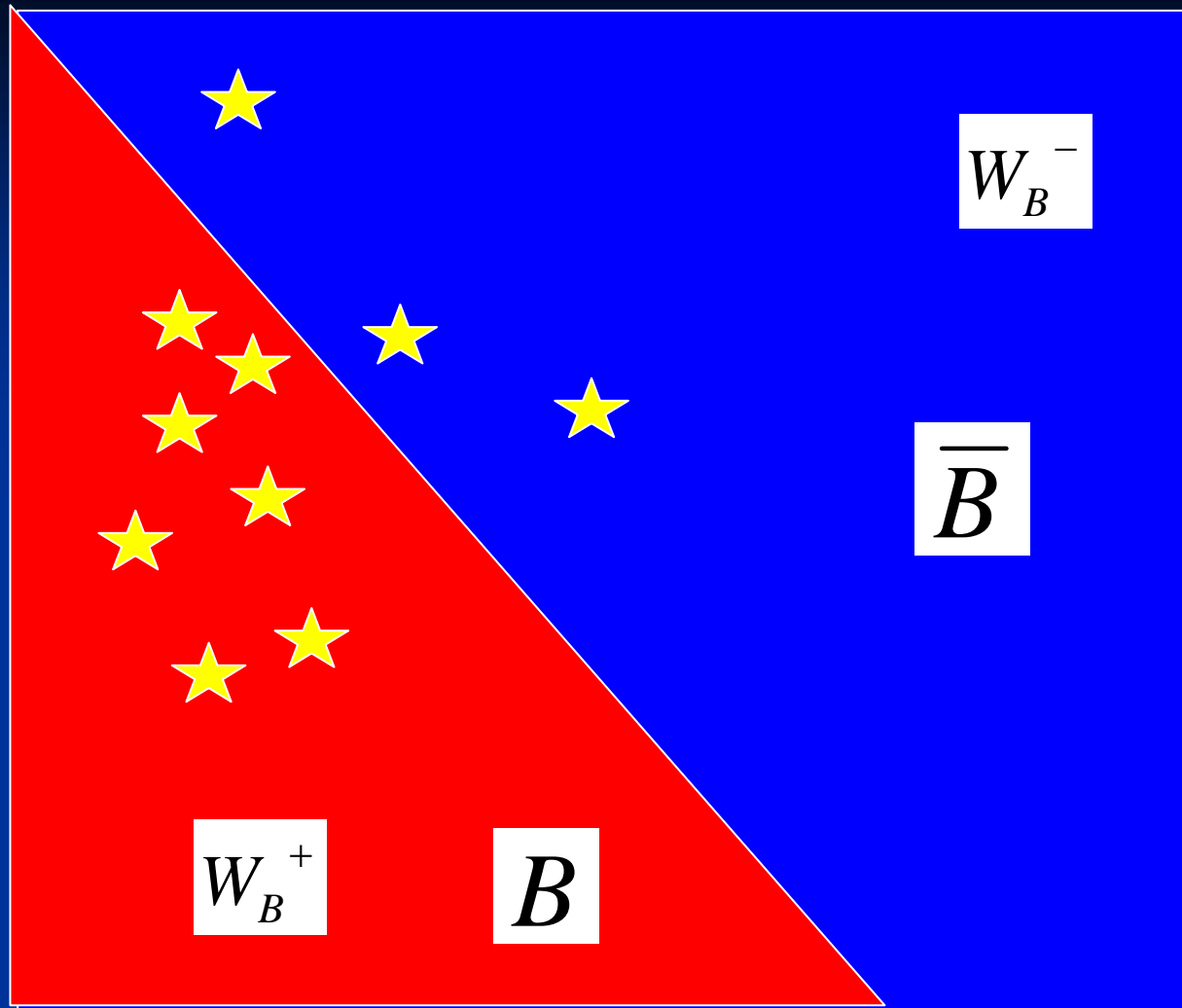


空间决策模型-空间信息综合-成矿概率图绘制



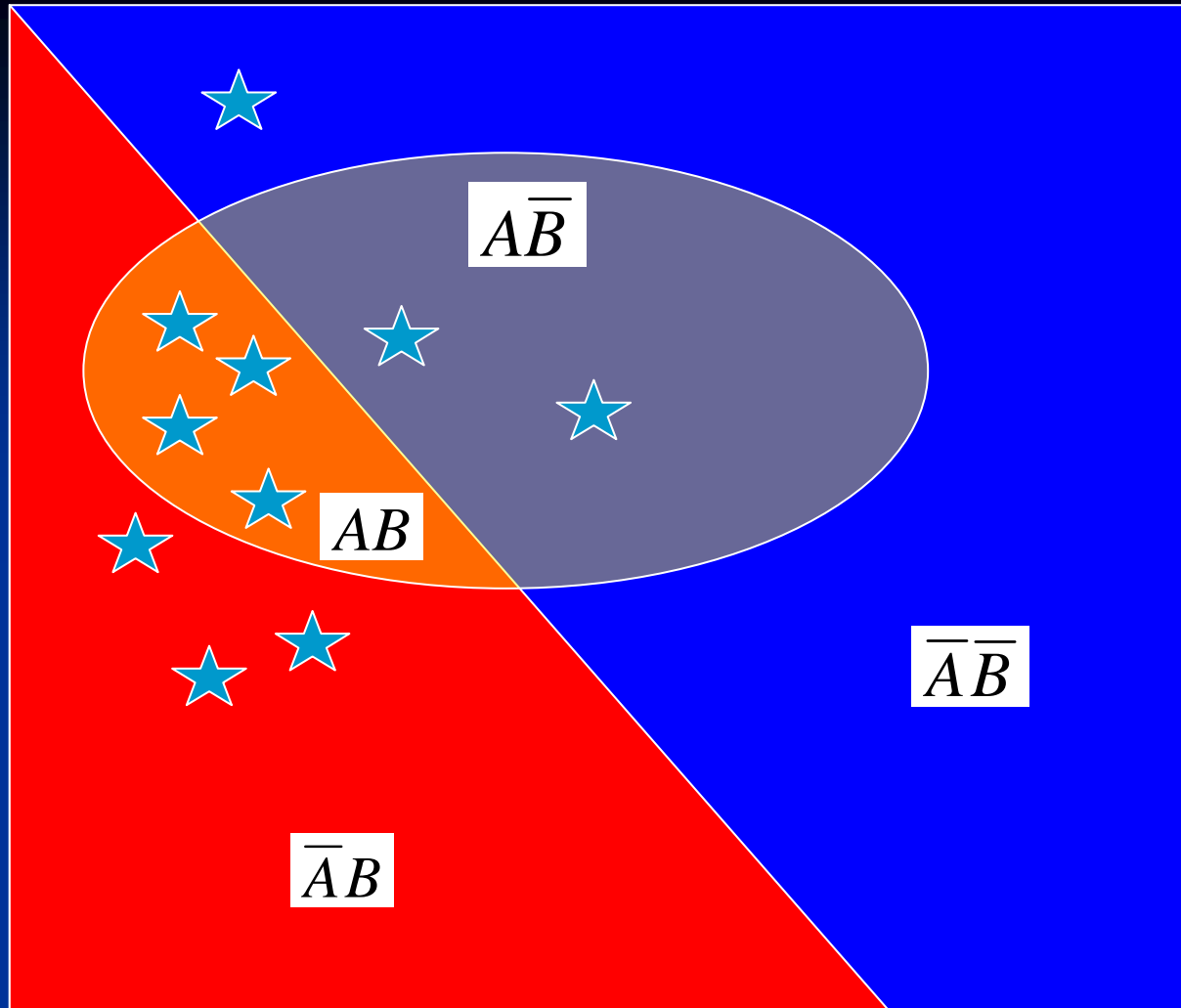
$$P(D | A) = \frac{e^{W_0 + W_A^+}}{1 + e^{W_0 + W_A^+}}$$

$$P(D | \bar{A}) = \frac{e^{W_0 + W_A^-}}{1 + e^{W_0 + W_A^-}}$$



$$P(D | B) = \frac{e^{W_0 + W_B^+}}{1 + e^{W_0 + W_B^+}}$$

$$P(D | \bar{B}) = \frac{e^{W_0 + W_B^-}}{1 + e^{W_0 + W_B^-}}$$



$$P(D \mid AB) = \frac{e^{W_0 + W_A^+ + W_B^+}}{1 + e^{W_0 + W_A^+ + W_B^+}}$$

$$P(D \mid A\bar{B}) = \frac{e^{W_0 + W_A^+ + W_B^-}}{1 + e^{W_0 + W_A^+ + W_B^-}}$$

$$P(D \mid \bar{A}B) = \frac{e^{W_0 + W_A^- + W_B^+}}{1 + e^{W_0 + W_A^- + W_B^+}}$$

$$P(D \mid \bar{A}\bar{B}) = \frac{e^{W_0 + W_A^- + W_B^-}}{1 + e^{W_0 + W_A^- + W_B^-}}$$

空间决策逻辑模型

(Logistic Model for SDSS)

后验概率 (Posterior Probability)

$$P(D | AB...)$$

$$\text{Logit}\{D | AB...\} = W_0 + W_A + W_B + \dots$$

空间决策信息综合一般模型

General Data Integration Model for SDSS

$$S = F(x_1, x_2, \dots, x_n)$$

S – 输出:

有利度指数 (**Favorability**)

后验概率 (**Probability**)

模糊度 (**Fuzziness**)

适合度 (**Suitability**)

x_i - maps or evidences 输入或者证据图层

w_i - weights 权重

简单模型Simple Linear Model

$$S = w_1x_1 + w_2x_2 + \dots + w_nx_n$$

模型约束条件Model Constraints

正规化 Normalization:

1. 变换 Convert maps into comparable unit

$$x_i = \begin{cases} 1, yes \\ 0, no \end{cases}$$

$$x_i = \begin{cases} 1, yes \\ 0.5, unknown \\ 0, no \end{cases}$$

$$x_i = 1, 2, \dots, 10$$

2. 相对权重 Weights showing relative importance of maps

$$w_1 + w_2 + \dots + w_n = 1$$

$$0 \leq w_i \leq 1$$

Methods for Calculating Weights for Data Integration 方法分类

Data Driven Methods: 数据驱动

Weights of evidence

Logistic regression

Artificial Neural network

Knowledge driven Methods: 知识驱动

Fuzzy logic

Hybrid Methods: 混合

Fuzzy weights of evidence

Model Types 模型类型

1. Probabilistic 概率模型

S – random variable showing probability $0 \leq S \leq 1$ with uncertainty

2. Deterministic 确定模型

S – Score $0 \leq S \leq 1$

Relationships Between Different Models

Simple Overlay Model (Union, Intersect, Identity)

Linear Model (adding weights)

Logistic Model (Weights of Evidence, Logistic Regression)

Fuzzy Logic model (various operators)

Spatial Data Modeler Extension: Arc-SDM and GeoDAS

Weights of Evidence

Fuzzy Weights of Evidence

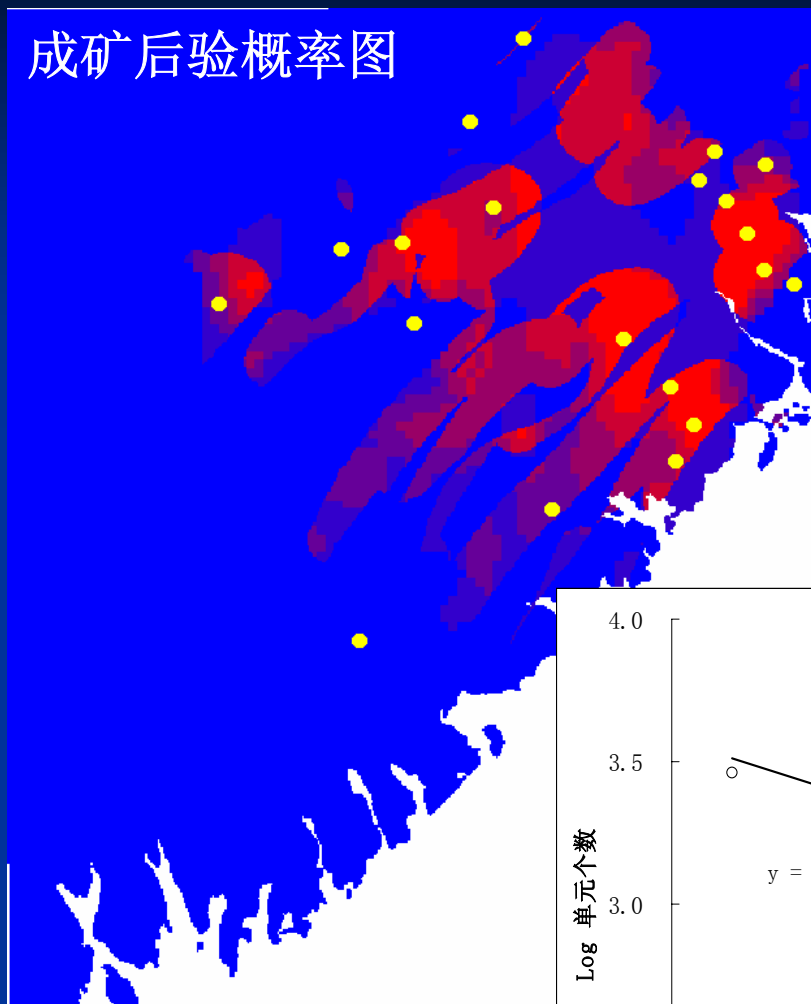
Logistic Regression

Fuzzy Logic

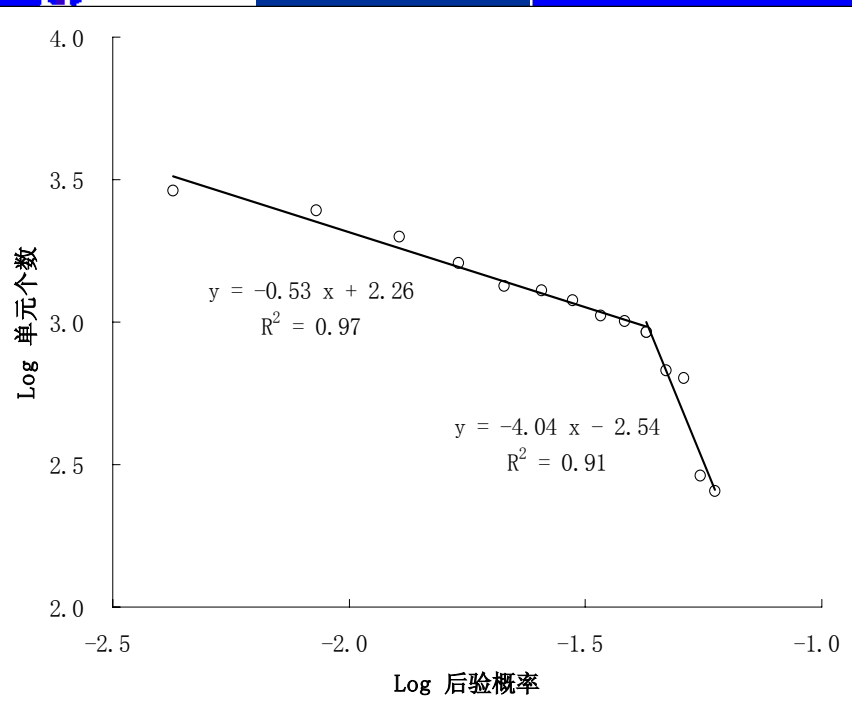
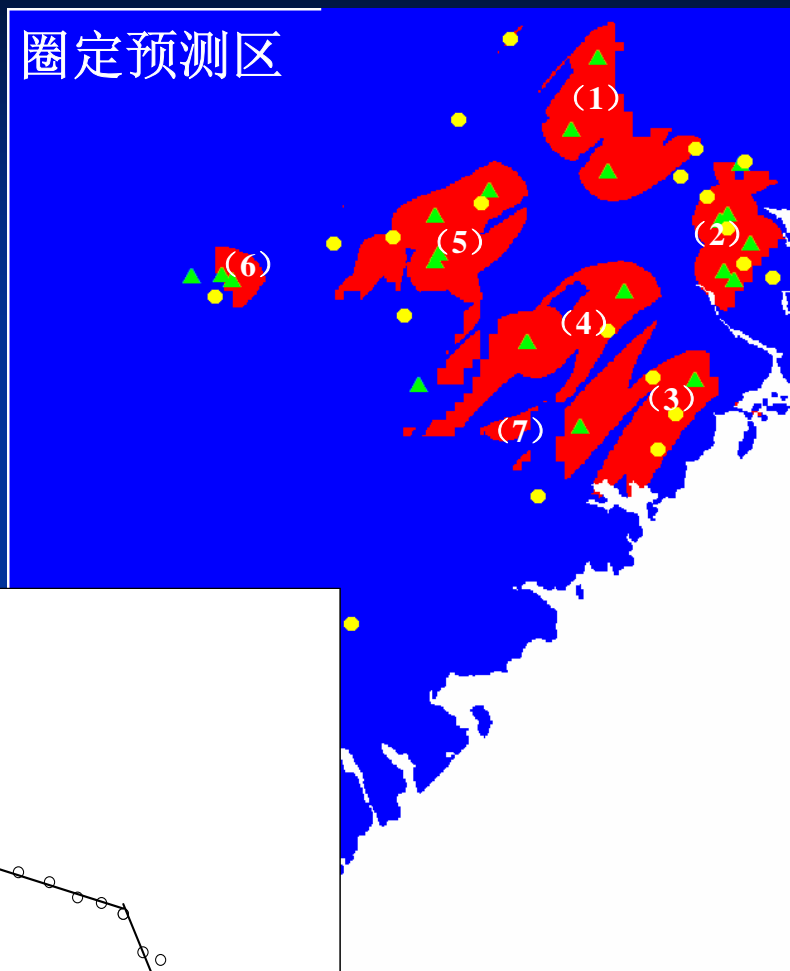
Neural Network

成矿要素叠加模型与成矿后验概率计算

成矿后验概率图



圈定预测区



后验概率服从分形分布

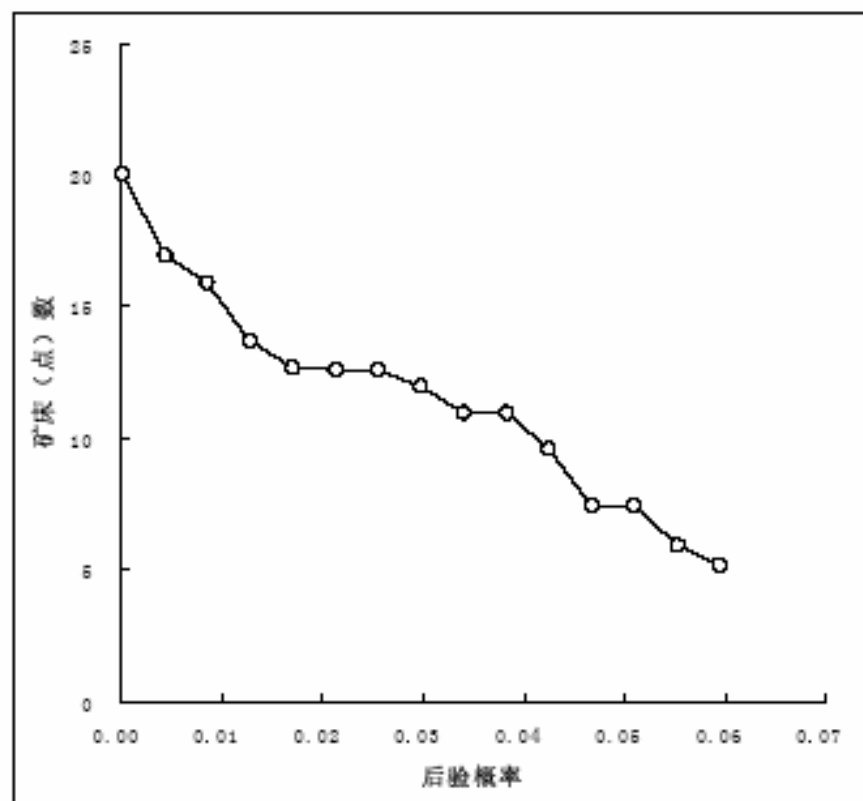


图 2.2.18(A). 单元后验概率与预测矿床分布图。

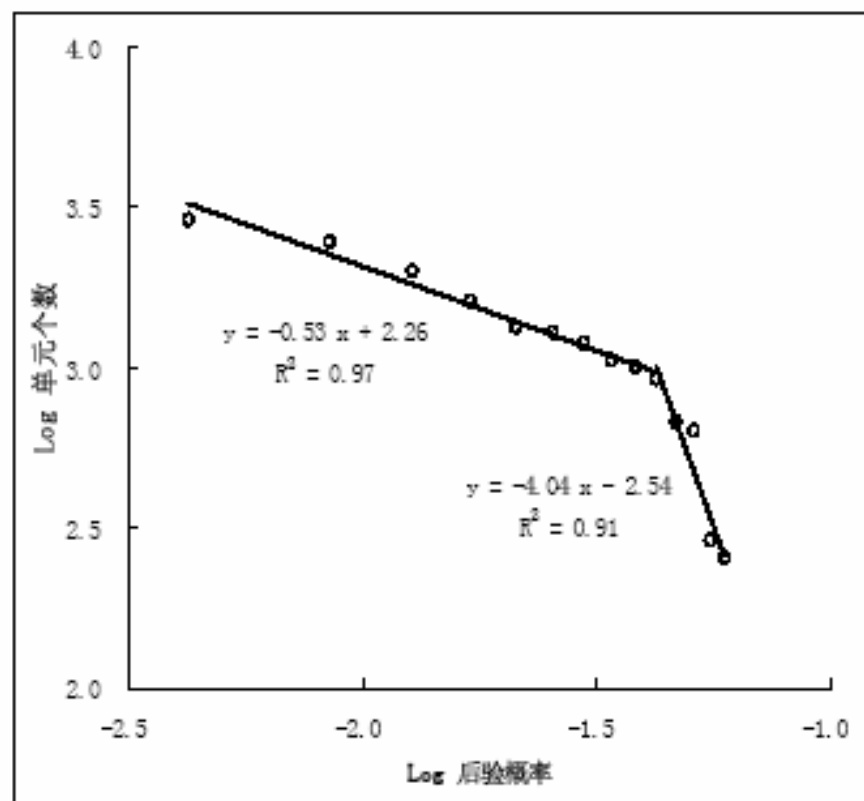


图 2.2.18(B). 单元后验概率与单元个数分布图。双对数表明关系服从分形分布。结果显示概率=0.0425 可以作为阈值将单元分成有利成矿单元和不利成矿单元。

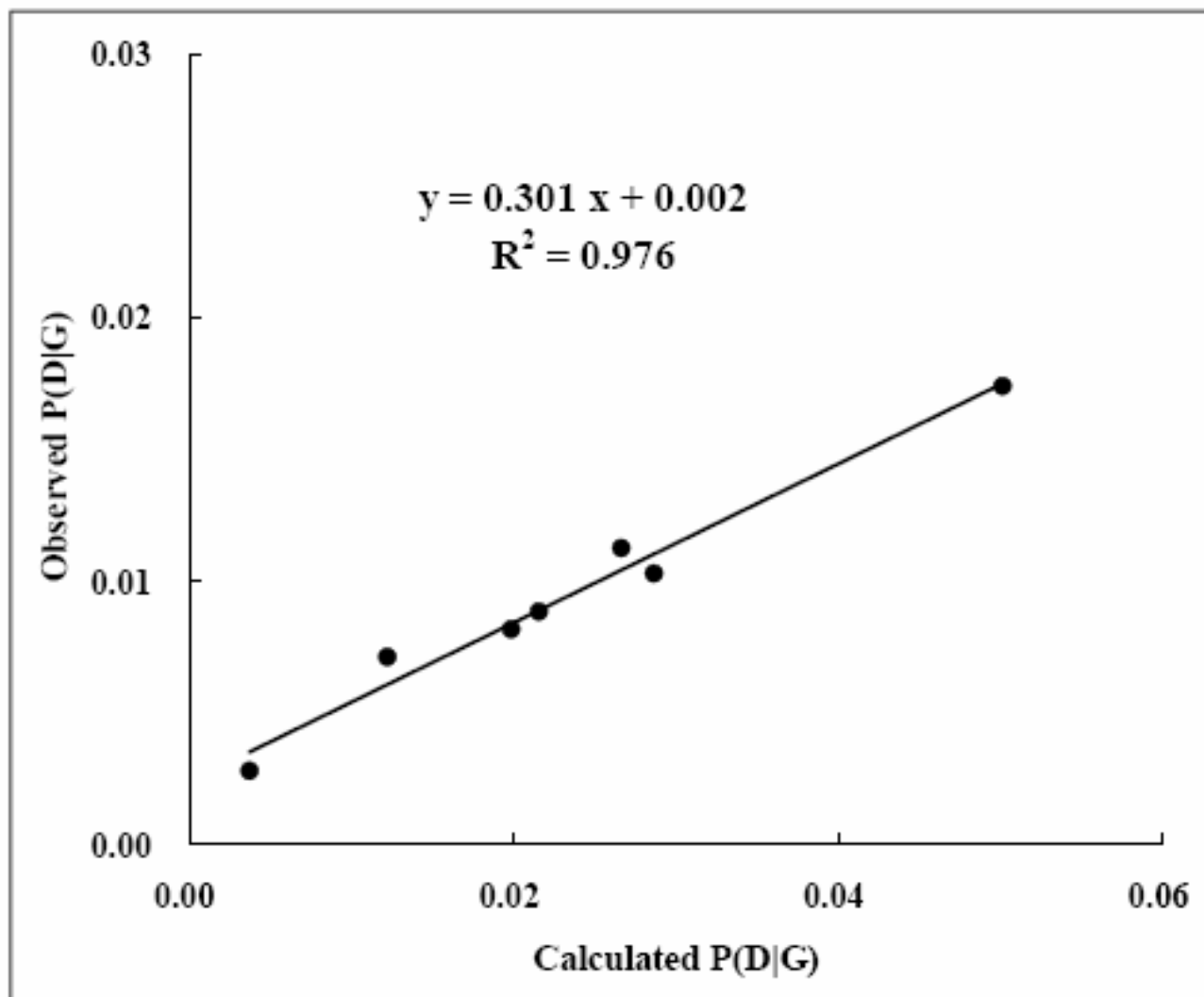


Fig. 8 Relationship between posterior probabilities calculated from weights of evidence model with assumption of weak conditional independency and from the actual training dataset, respectively. G stands for area classified on the basis of posterior probability map.

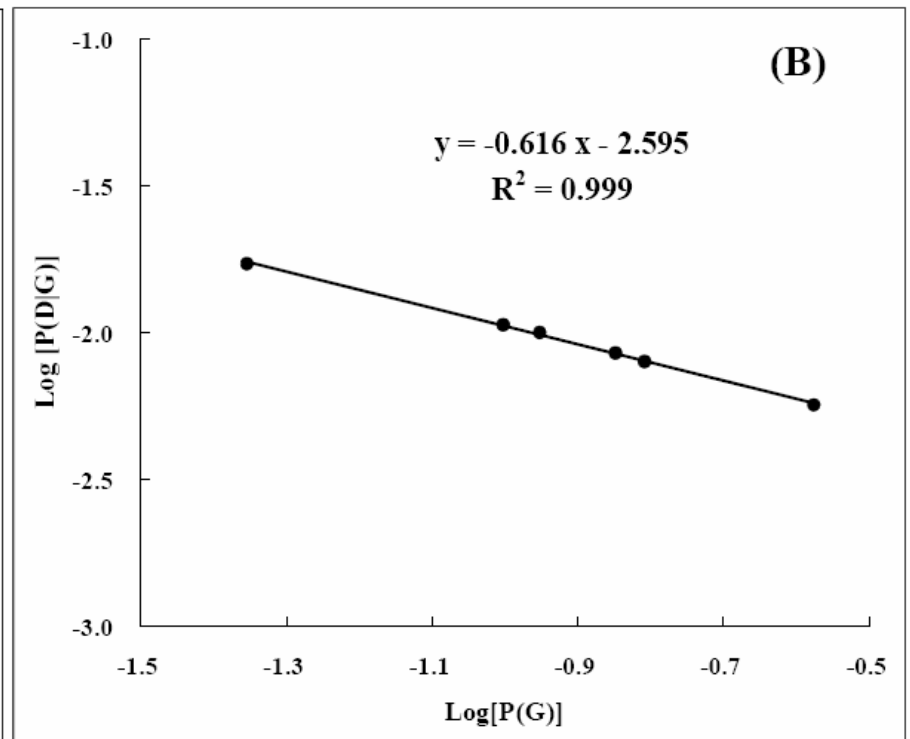
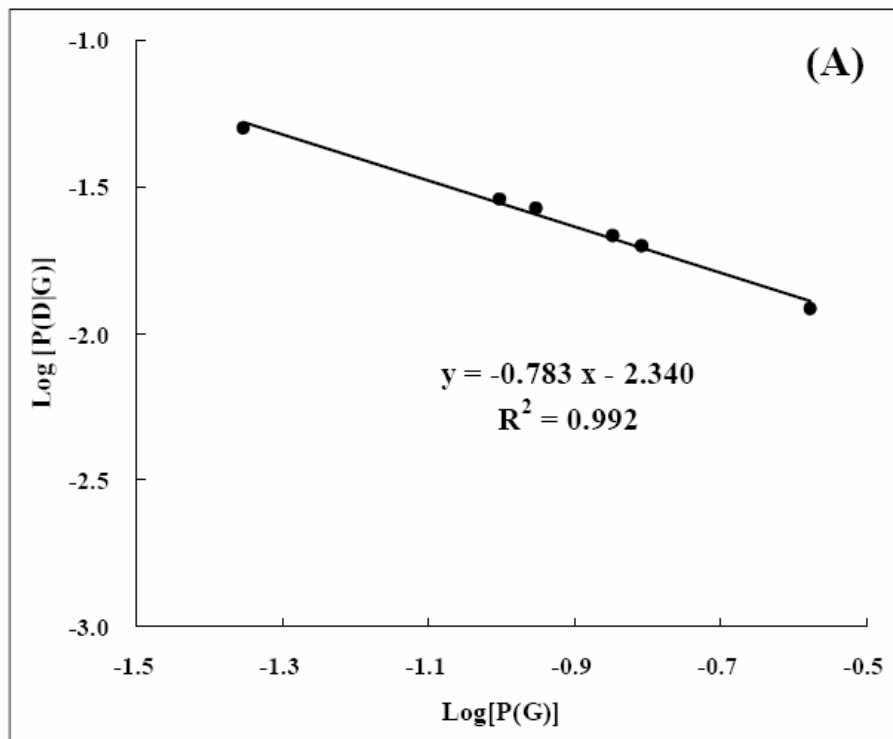


Fig. 9 Relationship between posterior probabilities of mineral deposits fell in the class G and the probability of G. Log-transform is 10-based. (A) The original posterior probability calculated using weights of evidence method and (B) the adjusted posterior probability.

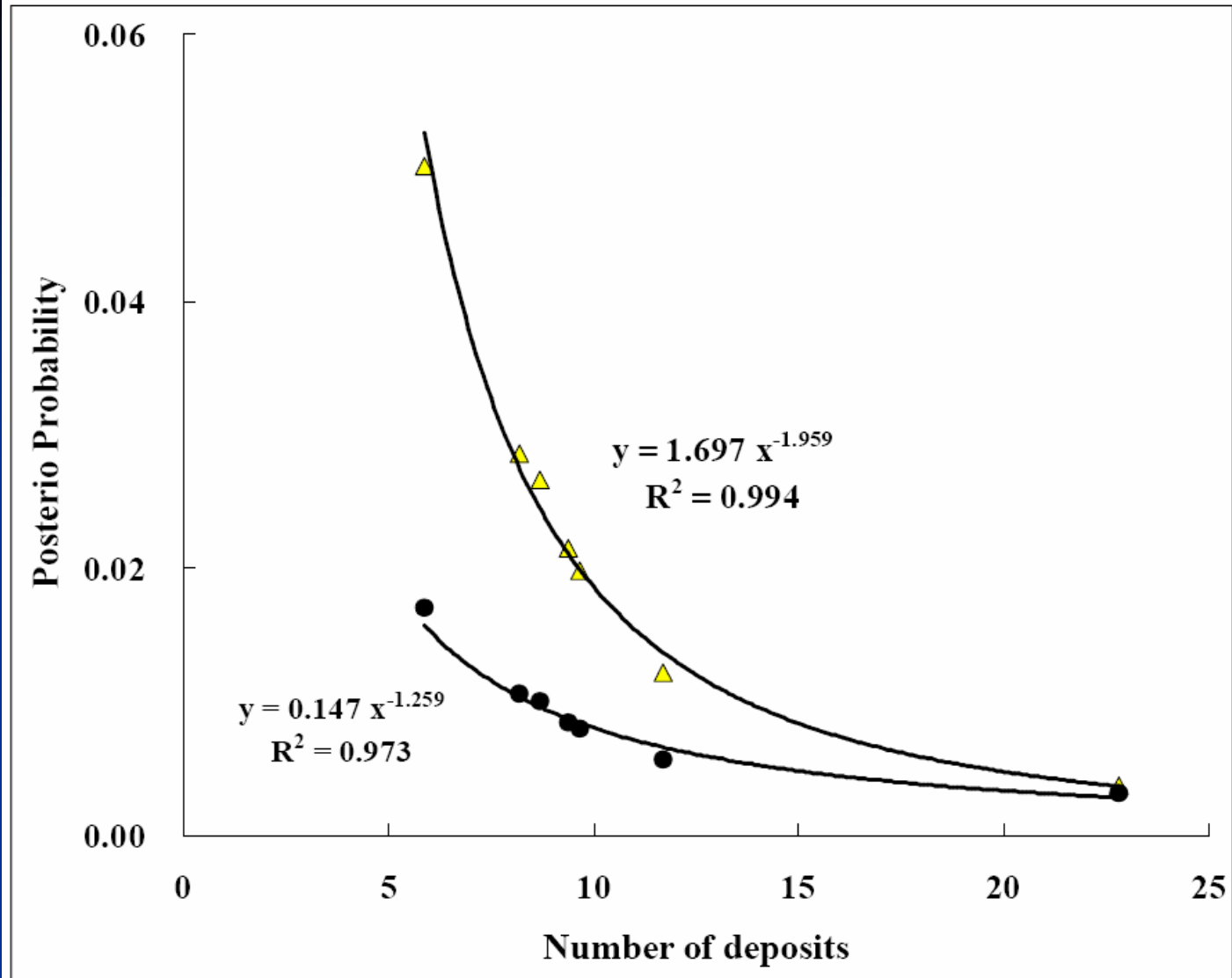


Fig. 10 Relationship between posterior probabilities of mineral deposits fall in the class G and the number of mineral deposits fell in each class (G). Dots represent the results obtained from the adjusted posterior probability and the triangles for the results obtained from the original posterior probability of each class G.