分　类　号：　**P628.1**　　单位代码：**10183**
研究生学号：　**2006611001**　　密　　级：公开



吉 林 大 学
博士学位论文

白山地区金多金属矿产资源预测研究

Studies on Au-polymetallic Deposit Prognosis in Baishan Area

作者姓名：毕明丽
专　　业：数字地质科学
研究方向：资源环境信息与决策系统
指导教师：路来君
培养单位：吉林大学地球科学学院

2009 年 **5** 月

白山地区金多金属矿产资源预测研究

Studies on Au-polymetallic Deposit Prognosis in Baishan Area

作者姓名：毕明丽

专业名称：数字地质科学

指导教师：路来君

学位类别：理学博士

论文答辩日期：　　年　　月　　日

授予学位日期：　　年　　月　　日

答辩委员会主席：

论 文 评 阅 人：

未经本论文作者的书面授权，依法收存和保管本论文书面版本、电子版本的任何单位和个人，均不得对本论文的全部或部分内容进行任何形式的复制、修改、发行、出租、改编等有碍作者著作权的商业性使用（但纯学术性使用不在此限）。否则，应承担侵权的法律责任。

吉林大学博士学位论文原创性声明

本人郑重声明：所呈交学位论文，是本人在指导教师的指导下，独立进行研究工作所取得的成果。除文中已经注明引用的内容外，本论文不包含任何其他个人或集体已经发表或撰写过的作品成果。对本文的研究做出重要贡献的个人和集体，均已在文中以明确方式标明。本人完全意识到本声明的法律结果由本人承担。

学位论文作者签名：

日期：　　年　　月　　日

《中国优秀博硕士学位论文全文数据库》投稿声明

研究生院：

本人同意《中国优秀博硕士学位论文全文数据库》出版章程的内容，愿意将本人的学位论文委托研究生院向中国学术期刊（光盘版）电子杂志社的《中国优秀博硕士学位论文全文数据库》投稿，希望《中国优秀博硕士学位论文全文数据库》给予出版，并同意在《中国博硕士学位论文评价数据库》和 CNKI 系列数据库中使用，同意按章程规定享受相关权益。

论文级别：□硕士 ■博士

学科专业：数字地质科学

论文题目：白山地区金多金属矿产资源预测研究

作者签名：　　指导教师签名：

年　　月　　日

作者联系地址（邮编）：

作者联系电话：

内 容 提 要

本文在对白山地区综合信息成矿预测研究基础上，对该区金多金属成矿规律与找矿模式进行了较详尽的探讨。利用区域1：20万航磁资料的位场不同高度上延处理，分别解译出不同深度层次的线形构造与环形构造，从而解决了老基底地层展布形态、隐伏岩浆岩岩体的空间形态、多组深部断裂的交汇关系、岩浆岩及老基底与盖层的接触关系等一系列成矿条件识别问题。同时对地球化学单元素异常与组合异常及其与岩浆岩体、老地层、构造三者关系进行了有益的探讨，给出了DEM三维模型，首次编制了该区1：20万综合矿产资源预测图，从而建立了该区矿产资源预测模型及找矿模型。在定位定量预测过程中，对地质变量的空间逻辑组合关系、合理赋值与赋权等关键内容进行了探讨。最后根据地质变量的逻辑组合成果，应用特征分析、聚类分析、回归分析、逻辑信息法等方法对本研究区进行金多金属成矿预测。

对各种方法的预测成果进行综合比较，最后提交白山地区金矿资源的重点预测远景区19处，同时给出结论：32、39、43号预测单元为寻找金矿最重要远景区；8、9、17、22、26、30、31、46号预测单元具有一定的找矿前景，可以作为后续找矿工作的重点单元；4、5、14、15、16、27、34、37号预测单元与前两组单元相比成矿有利度相对较低，需要对单元做进一步的勘查工作，作为找矿的远景储备单元。因此论文所做的工作为该区实际找矿提供了可参考的依据。

目　　录

第 1 章　绪　论 1

1.1　论文研究目的与意义 1

1.2　矿产资源预测研究现状 1

1.2.1　国外研究现状 1

1.2.2　国内研究现状 3

1.3　研究区以往工作概况 6

1.4　本文工作内容及工作量 8

1.4.1　本文工作内容 8

1.4.2　工作量 9

第 2 章　综合信息矿产资源预测理论与方法 12

2.1　综合信息矿产资源预测的基本理论 12

2.1.1　综合信息找矿模型 12

2.1.2　综合信息找矿模型的数学转换 14

2.1.3　综合信息矿产资源定量评价 15

2.1.4　成果表达 15

2.2　综合信息成矿预测系统方法 15

2.3　综合信息中比例尺成矿预测 17

第 3 章　区域地质、地球物理及地球化学特征 18

3.1　区域地质特征 19

3.1.1　地层 19

3.1.2　构造 23

3.1.3 侵入岩 26
3.1.4 矿产概况 30
3.2 区域地球物理特征 30
3.3 区域地球化学特征 33
3.3.1 元素地球化学参数特征 33
3.3.2 元素地球化学场特征 35
第 4 章 物化探信息解译 41
4.1 物探信息解译 41
4.1.1 地球物理信息解译方法 41
4.1.2 航磁解译构造及其控矿特征 44
4.2 化探信息解译 46
4.2.1 单元素地球化学异常 46
4.2.2 元素空间定量组合求异模型 51
4.2.3 组合异常空间分布 DEM 模型 55
4.2.4 组合异常空间分布特征 59
第 5 章 典型矿床特征 61
5.1 荒沟山金矿床 61
5.1.1 矿床地质特征 61
5.1.2 矿体特征 62
5.1.3 矿床成因 63
5.2 金英金矿 65
5.2.1 矿区地质特征 66
5.2.2 矿体特征 67

5.2.3 矿石质量特征 68
5.2.4 矿床成因、成矿规律及找矿标志 69
5.3 大横路铜钴矿 71
5.3.1 成矿地质背景 71
5.3.2 矿体特征 71
5.3.3 矿床成因 72
5.4 小结 75
第 6 章 成矿地质条件与找矿标志 76
6.1 成矿条件分析 76
6.1.1 成矿与构造特征分析 76
6.1.2 成矿与地层特征分析 78
6.1.3 侵入岩与成矿 81
6.2 找矿标志 81
6.2.1 地质标志 82
6.2.2 地球物理场标志 83
6.2.3 地球化学标志 83
第 7 章 统计单元的划分及地质变量研究 84
7.1 统计单元的划分 84
7.1.1 地质体单元的概念及划分原则 84
7.1.2 研究区地质单元划分的信息组合 85
7.1.3 研究区统计单元的划分 86
7.2 地质变量研究 87
7.2.1 变量的提取 88

7.2.2 变量的选择 89
7.2.3 变量的赋值 92
7.2.4 变量的优化 93
第 8 章 矿产资源定位及定量预测 101
8.1 矿产资源定位预测 101
8.1.1 特征分析评价模型 101
8.1.2 Q 型聚类分析模型 105
8.1.3 数量化理论Ⅳ模型 107
8.2 矿产资源定量预测 109
8.2.1 定量预测变量选择 109
8.2.2 定量预测模型 110
8.3 预测成果解释及表达 111
8.3.1 单元位置预测 111
8.3.2 单元成矿规模预测 113
8.3.3 单元成矿远景预测 114
第 9 章 结 论 116
主要参考文献 118
攻读博士学位期间发表的学术论文及其它成果 123
致 谢 124
摘 要 1
ABSTRACT 4

第 1 章 绪 论

1.1 论文研究目的与意义

人类进入二十一世纪后，随着社会经济快速发展，对矿产资源的需求也在不断增长。据全球范围和中国境内统计，矿产资源作为不可再生资源，已探明的金属矿产保有储量正在逐年减少（地质勘查导报，2004）。据统计现阶段我国 95%以上的能源，80%以上的工业原料、70%以上的农业生产资料来源于矿产资源，30%以上的农业用水和饮用水来自属于矿产资源范畴的地下水[1]。

本文选题确定吉林省白山地区为工作区，该区地处华北地台北缘东段[2]，是地台北缘成矿带的重要组成部分，矿产资源丰富，目前已发现大、中、小型各类金属矿床 40 多处，成矿类型复杂，金、银、铜、镍、钴、铅、锌、锑、铁等矿种繁多。然而，随着地质找矿难度的增大，二十世纪五、六十年代投产的几十座金属矿山中的大部分已经因资源枯竭闭坑停产或濒临停产，急需新的接续资源维系经济发展和社会稳定。在这种情况下，加强该区金、多金属成矿预测，搞清多金属成矿的地质背景、成矿地质作用、矿床形成及分布特点、控矿地质因素、矿化信息等，为今后的普查勘探提出进一步找矿方向，显得尤为重要和迫切。因而，该项工作具有十分重要的经济意义和社会意义。

1.2 矿产资源预测研究现状

矿产资源预测是在科学预测理论的指导下，通过剖析成矿地质条件，深入研究矿化信息（找矿标志）、总结成矿规律，进而圈定不同级别的预测区或三维空间内的找矿靶区的一项综合性工作。在成矿预测过程中，利用各种矿化信息进行深入研究和综合分析做为重要手段的成矿预测方法，是关系到预测成败的重要技术问题，这些问题一直被国内外矿产勘查学者所关注[3-7]。

1.2.1 国外研究现状[8-11]

在矿产资源预测中，作为对各种成矿信息进行深入研究和综合分析重要手段的成矿预测方法是一个关系到预测成败的重要技术问题，它一直为国内外矿产勘查学

者的关注[12-15]。

早在20 世纪50 年代初，国外对矿产资源成矿进行定量研究，如M.Allais对撒哈拉沙漠地区进行了矿床个数的预测研究[16-17]。20 世纪60 年代初，人们开始使用多元统计分析方法综合处理矿产资源预测的各种数据，法国著名学者G. 马特隆教授于1962年创立的，其核心即所谓的"克立格"。它是一种无偏的最小误差的储量计算方法。该方法按照样品与待估块段的相对空间 位置和相关程度来计算块段品位及储量，并使估计误差为最小。这是南非采矿工程师D.G. Krige 根据南非金矿的具体情况与1952年提出的，故命名为克立格法。后来法国学者G. 马 特隆（Matheron）对克立格提出的方法进行研究，认为克立格提出的方法是在考虑了空间分 布特征的基础上，合理地改进了统计学，是一种传统方法与统计学方法结合起来的新方法。 同时为了解决具二重型（结构型与随机性）的地质变量的条件下使用统计方法的问题。马特隆教授提出了区域化变量的概念（Regionalized Variable），从而创立了地质统计学。根据地 质统计学理论，地质特征可以用区域化变量的空间分布特征来表征。而研究区域化变量的空 间分布特征分布的主要数学工具是变差函数（Variogram）。到七十年代中后期，马特隆的学生JOURENL等在研究其它地质变量的基础上，认为某些地 质变量并不是一成不变的，而是有一定波动的，这样使用克立格法就不能很好再现地质变量 的分布特征。因此他们采样模拟的方法，将克立格估计的离散方差的波动性模拟出来，从而 产生了随机模拟法。因此，从二十世纪八十年代以来，地质统计学分为两派：一派以法国的马特隆教授等人为主，仍致力于克立格估计的研究；一派以美国JOURENL等人为主，主要 致力于随机模拟方法的研究。

20 世纪60-70 年代，统计分析方法在矿产资源预测领域内得到了广泛的应用，方法研究上也有所发展，其中较有代表性的研究工作有：美国Harris的主观概率法、加拿大Agterberg的多元统计分析方法[18]，以及美国Brinck的丰度估算法等；以前苏联为代表的欧美国家，多次召开一些地区性的隐伏矿产预测会议，制定了局部预测方法和合理的“预测普查组合”，并有明确的规定和技术要求，在地质工作程度较高的地区付诸实施局部成矿预测理论和方法及综合性立体地质方法，取得了突破性进展。从20 世纪70 年代后期至 80 年代初期，矿产资源预测不仅从理论有了较大的发展，应用的广度也有很大的进展，各种成矿预测系统以及预测程序包的开发极大的推进了预测工作的发展。20 世纪80 年代以后，随着世界经济飞速发展，各经济

大国对矿产资源的需求量与日俱增，一些矿产出现了明显的需求紧缺， 日益严峻的矿产资源短缺形势推动了矿产资源预测研究工作的快速发展。

从20世纪90年代初开始，矿产预测中广泛应用高新技术。在高新技术支持下，资源预测逐渐向数字化、可视化、系统化、自动化和网络化发展，人工智能技术、图形图像处理技术，特别是“3S”技术即遥感（RS）、地理信息系统（GIS）、全球定位系统（GPS）技术应用于地质领域，促进了矿产资源定量、定位预测方法技术的进一步发展。美国、加拿大、澳大利亚等发达国家把GIS技术与成矿预测结合起来并成功应用，如美国地质调查局启动了应用和评价美国国土资源评价计划(CUSMAP)；加拿大地质调查局提出适合于GIS平台上操作完成的资源预测模型--证据加权模型(Weighters of Evidence Mode)；澳大利亚地质调查局广泛用于建立矿产资源评价的基础--矿产省的GIS数据集，以及适用于已知矿床很少或没有已知矿床的未勘探区的概念法，和适用于含有大量已探明矿床地区的经验法两种以GIS为基础的勘查方法应用等。

1.2.2 国内研究现状

我国矿产资源预测方法的探索工作早在20 世纪60 年代就已经开始[13]，主要依据地质构造和成矿特点的分析，在已知矿床外围进行简单的类比预测，以经验性的定性预测方法为主。20 世纪70 年代末期至90 年代，随着国外一些成矿理论、方法的引进，我国的成矿资源预测方法也得到了飞速的发展，并在勘查工作中得到了广泛的应用。首次成矿预测工作是由赵鹏大等人，于1975 年完成了宁芜盆地中、北段的矿床统计预测；原长春地质学院王世称教授等人于1978 年开展了冀东水厂地区变质岩铁矿预测，验证所使用的方法有效，取得了理想的效果。1981 年在原地质部规划院组织下，开始了方法性试验工作，对国际地科联第98 项计划所推荐的6 种方法原理和应用条件进行了详细的研究。随着成矿新技术、新理论、新方法的不断发展，尤其是计算机技术广泛运用，地质科技工作者将成矿预测、矿产统计预测作为数学地质研究领域的一个重要研究方向展现了广泛的应用前景，在开展各种科研工作的同时，也形成了一些具有我国特点的矿产资源预测方法体系[19-24]，如王世称教授提出了综合信息成矿预测理论及方法体系；赵鹏大院士提出的地质异常理论及其相应的预测方法等。经过反复的实践证明和检验，这些矿产资源理论方法

体系各具特色，对生产和科研具有实际意义和指导作用。

国内 GIS 技术应用研究起步较晚。“八五”期间，GIS 技术才被列为地矿勘查关键技术，进入 90 年代以后，GIS 矿产资源预测研究得到了足够的重视，这方面以中国地质大学胡光道教授领导的研究集体在 MAPGIS 软件平台开发的金属矿产资源评价分析系统(MORPAS)；中国地质矿产信息研究院与四川地质矿产勘查开发局合作在 ARC/INFO 和 ARC/View 软件平台开发的 GIS 应用于矿产资源区域评价方法(AMS-GIS)；长春科技大学王世称教授领导的研究集体在 MAPGIS 软件平台开发的综合信息矿产源预测系统(KCYC)，中国地质科学院肖克炎博士为首的在 MAPGIS 软件平台开发的矿产资源评价系统(MRAS)等为代表；吉林大学路来君教授为首的地学 G^4I 系统；马生忠等在 1991 年和 1993 年分别完成了王世称教授综合信息矿产预测专家系统和系列成矿专家系统研究任务，是目前国内在矿产资源预测方面实用性较强的专家系统之一。这方面的研究开创了综合信息矿产预测智能化的先河。

1、相似—类比理论

相似类比理论是矿床预测的重要基础理论之一[25]。该理论认为：在相似地质环境下应有相似的矿床产出，在相同的地质范围内，应有等同或相近的资源量，同类型矿床之间可以进行类比。与已知的矿床具有相似地质环境的地区，可以认为是成矿的远景区或成矿靶区。根据该理论，预测工作将预测对象同研究的已知矿床模型进行对比分析，并根据其相似性程度进行某种预测。相似类比理论方法虽然是一种直观的方法，但它确是几种常用方法的基础。

2、地质异常与求异理论

矿床都产出于地质异常中，因而通过发现异常，就可以发现矿床。人所共知，矿产通常是所在地质体的一个特殊组成部分—异常，这种特殊性可以体现为物理异常、化学异常及地质异常，并且前二者包括在后者之中；特大型矿床在同类性的小矿床中又有其产出的特殊性。因此，求异是预测找矿的一个有效途径及思路。通过求异，也只有通过求异，才能发现新类型的矿床

3、定量组合控矿理论

成矿不是靠单一因素，也不是靠任意个因素的组合，而是靠“必要和充分”因素的组合。人们现在尚不能对其充分认识和查明，这样，成矿和找矿就成为了非确定性事件。预测的任务是，最大限度地提高找矿概率。往往在地质条件相似情况下，

一些地区有矿，而另一些地区无矿，这是因为“相似的地质条件”并不一定是成矿的“充分条件”。一般地说，一个地区成矿概率的大小与有利因素组合程度有关，也与关键因素是否存在相关。

4、综合信息评价理论

综合信息评价理论是从预测研究区的地质构造环境和所预测矿种的已知矿床（点）入手，分析矿床的成矿规律，控矿条件[20]，以此为前提对各种地物化遥资料进行解释，研究直、间接信息的关联关系，形成综合信息系统，深化已取得的地质规律的认识，建立以找矿为目的的综合信息找矿摸型；研究矿化单元边界条件，划分出不同等级的地质统计单元（预测靶区）；研究信息与矿产资源特征间的关系，选择最佳变量组合；应用电子计算机技术将综合信息找矿模型转化为定量评价模型，将其外推到地质构造环境相类似的未知区域，实现对资源特征的定量估计 [26-29]。

5、矿床成矿系列理论

矿床成矿系列理论主要是研究在一定的地质时期和地质环境中，在主导的地质成矿作用下形成的时间上、空间上和成因上具有密切联系的一组矿床类型的组合。根据已知的成矿系列理论，针对工作地区的地质构造环境和岩石建造特征，可以预测该区可能存在的某一（些）成矿系列，有效地指导成矿预测工作，促进矿产资源的勘查工作。该系列可分出以下不同级别的序次：矿床成矿系列组合、矿床成矿系列类型、矿床成矿系列、矿床成矿亚系列、矿床式（或矿床类型）、矿床。成矿系列理论是我国矿产预测的重要基础理
论之一。

6、成矿系统理论

将成矿的构造体系、流体系统和化学反应及矿床定位机制有机的结合起来，从成矿作用动力学演化的角度来分析成矿作用过程及其要素，以新的思路去探讨认识矿床的形成和分布规律，更有效的指导找矿工作。其基本内涵是“成矿系统是指在一定的时空域中，控制矿床形成、变化和保存的全部地质要素和成矿作用的过程，以及所形成的矿床系列、矿化异常系列构成的整体，是具有成矿功能的一个自然系统”[30]。成矿系统的内部结构包括四个部分：1 控制成矿因素；2 成矿要素；3 成矿作用过程；4 成矿产物。

7、矿床成因模型预测理论

20 世纪80 年代以来，国际上兴起了以矿床成因模式进行成矿预测和找矿的热潮，其主要内涵是针对不同矿种、不同成因类型的矿床进行成因模式研究，利用已知矿床的成因模式开展成矿预测并直接指导地质勘查找矿工作。国外以PCox 和ASinger（1987）为代表，国内以陈毓川、裴荣富、张贻侠等一些矿床地质学家为代表。

目前各种成矿预测理论已广泛应用到实际的预测工作中，但还有不尽如人意的地方。在已经进行的成矿预测中，多以中、小比例尺成矿预测为主，中、大比例尺预测工作开展的较少。如何将上述成矿预测理论及其思想应用于大比例尺成矿预测，形成一套完善的方法，是目前急需研究解决的问题。这一领域的研究工作虽然正在从不同的角度进行，但还未取得实质性的突破。

1.3 研究区以往工作概况

吉林省白山地区地质调查和资源勘查程度较高，工作进展不平衡。先后有许多地质调查和勘查工作，简述如下：

1949-1951年，解放初期、白山市的一些老矿山相继为中国人民解放军接管，当时这些老矿山都已经停产倒闭，为了尽快恢复生产，1949年在长春市成立东北地质调查所，政务院财经委员会派出东北地质调查总队，对临江铜矿、大栗子铁矿、荒沟山铅锌矿、松树镇煤矿、湾沟煤矿、砟子煤矿、石人沟煤矿等矿山进行了调查。

1952-1957年，1952年底，地质部东北地质局在沈阳成立，为吉林省派出7支勘查队伍进行普查勘探工作。1954年冶金部鞍山地质勘探公司队对七道沟铁矿和大栗子铁矿进行了勘探。1955年地质部东北地质局提交了《临江二道沟铜山铜钼矿普查报告》，冶金部鞍山地质勘探公司提交了《浑江市大栗子铁矿地质勘探报告》。

1958-1965年，1958年吉林省地质局成立，1959年吉林省冶金局地质勘探公司成立，相继吉林省煤田、建材组成地质勘探公司，各县组建地质队，在地质队伍正规化、综合化方面进入了一个新的阶段。

根据形势要求，地质工作以勘查铁矿及冶金辅助原料矿产为主，取得了一系列重大成果。

（一）吉林省地质局所属地质队，重大发现有：经普查找到马鞍山硅藻土、板石沟铁矿。提交的铁矿报告主要有：爱林铁矿、青沟—太平铁矿、临江地区富铁矿、

乱泥塘铁矿、苇沙河一带铁矿等普查报告。以及《板石沟铁矿地质勘探最终报告》、《荒沟山铅锌矿黄铁矿储量计算报告》、《抚松大营II号铅锌矿体详查报告》等。

（二）吉林省冶金部门勘查工作取得了重要成果，提交的报告有：《六道沟矿区铜山铜模矿床地质报告》、《荒沟山铅锌矿初步勘探报告》、以及六道沟刘家堡子铜矿、铜山铜钼矿综合利用查定工作报告；老岭铁矿地质勘探总结报告；大栗子铁矿地质勘探总结报告。

1966-1978年，这一阶段前期受政治运动的干扰，使矿产勘查工作处于停止状态。1970年秋，逐渐恢复。由省地质局通化地质大队，提交的报告有：《浑江市砟子铝土矿普查报告》；《浑江市平川砂金普查评价报告》。省地质局第八地质调查队，提交了浑江市老道洞、山顶洞以及松树窝子、韩家街冰洲石普查评价报告。省冶金地质勘探公司，602队在大栗子铁矿区勘探了东风区、西部区富铁矿，提交了勘探总结报告。602队提交了《抚松铁矿普查评价报告》，《临江铜矿小铜沟地质勘探报告》。

1979-1989年，省地质局第五地质调查所，对那尔轰铜矿进行了普查评价，提交了《靖宇县那尔轰铜矿初步普查报告》。省冶金地质勘探公司602队，在大栗子铁矿外围的小栗子沟发现富铁矿，提交了《浑江市大栗子矿区小栗子铁矿床一、二区段地质勘探储量报告》。601队，对临江铜矿、通化铜矿继续勘查，增加了储量，提交了补充报告。

1990—1998年，通化地质大队查明浑江市荒沟山铅锌矿有可采含金层。提交了《临江县荒沟山金矿勘探报告》，以及《靖宇县东大沟金矿详查报告》。省冶金602队提交了《浑江市临江三道沟金矿勘探报告》。核工业部224队提交了《汤河去砂金矿详查报告》和《靖宇县那尔轰河砂金普查报告》。省地勘局第五地研所，在大横路首次发现以钴为主的铜钴矿床，提交了《白山市大横路矿区铜钴矿普查报告》。省冶金602队，提交了《临江市大栗子矿区小栗子铁矿四区北段地质勘探报告》，增长了大栗子矿区富铁矿石储量。

区域地质调查是地学的一项基础工作，省地勘局区调大队，通化地质大队，先后完成了长白—满江、靖宇、抚松、浑江市1：20万比例尺区调工作并完成部分1：5万比例尺图幅。

1999-现在，在白山板庙子青白口系赤铁矿化石英砂岩层位中发现具规模的金矿

富集带，在板庙子金矿区求得金储量 20 吨；老岭成矿带的金、钴资源评价已列入大调查项目并已组织实施，在大松树一带已获得明显的找矿成果。2007 年，由通化地质矿产勘查开发院和澳大利亚澳华黄金有限公司提交了《中国吉林省白山市金英金矿地质勘探报告》。

1.4 本文工作内容及工作量

依据综合信息矿产预测理论及方法，本研究开展了白山地区金多金属矿产资源预测的系列研究工作。

1.4.1 本文工作内容

1、地质环境研究

通过对研究区的大量地质调查及科研工作取得的成果资料入手，对白山地区金、多金属成矿带内的构造、侵入岩、地层等成矿地质环境进行分析。确定不同方向、性质、产状、规模的断裂构造对成矿的容矿、控矿特征，总结与矿体赋存空间内发育的蚀变类型、脉岩等方面的基本特征。对研究区内不同期次的侵入岩进行分析，确定与成矿作用关系密切的侵入岩的空间分布、岩性、期次等方面的特点。分析研究区内出露的地层空间分布特征，总结各个时代地层的基本特征。通过对研究区内的成矿地质环境研究，结合已知典型矿床的成矿地质环境分析，综合概括与成矿具有密切关系的地质环境特点。

2、物化探信息解释

中比例尺物化探数据处理与综合解释是本文工作的重要内容之一。利用已知的区域地球物理、地球化学数据资料，通过数据分类、补齐、转换等方法，对研究区内分布的各种侵入岩、构造、地层等地质单元进行物化探方面的解释。通过各地质单元的航磁场的空间形态进行场区的定性划分，对航磁场进行不同高度延拓，解译研究区内的磁性体及构造形迹，重建该区的构造框架。对研究区内的侵入岩、地层微量元素含量的分析，研究其微量元素的富集、浓集等方面的特点。根据区内微量元素统计计算，对微量元素地球化学场进行划分，从空间上对地球化学场的分布进行详细描述。

3、成矿条件分析

在对研究区内金、多金属成矿带的已知矿床的成矿地质背景、成矿规律等研究的基础上，结合研究区内的成矿地质背景特征，对矿床的成矿条件进行分析。成矿物质与成矿关系密切的地层、侵入岩矿源成因关系，构造的形态、产状、性质与成矿之间的关系等方面进行了详细的研究。总结地层、侵入岩及构造与成矿的矿源、控矿、成矿等方面的特征。

4、找矿模型建立

通过对研究区地质构造、地层及侵入岩特征进行分析，从中提取出隐伏或盲矿体的找矿标志，结合地球物理、地球化学，综合解释、分析，寻找出矿带、矿田及矿床的综合控矿规律，进而确定对矿产资源的存在性起决定作用的确定性标志组合；在研究区内确定模型区、预测区以及各级统计单元的定义域；在此基础上，选取控制矿产资源及其在地质体中变化的统计性标志；提取控矿因素和找矿标志变量。由此筛选标准控制单元作为建立定量预测模型的已知样本，运用各种地质统计学方法研究对地质数据进行处理、优化，建立起地、物、化信息最佳组合状态的地质找矿模型。

5、定位定量预测

在地质变量研究中，本文着重对空间变量组合逻辑关系、变量组合求异模型与DEM表达模型、定量预测模型进行了较详细的探讨。对研究区进行地质单元的划分，在统计单元中进行变量的选择、提取、赋值、优化等数据处理，采用统计计算和地质统计分析来选择已知单元与预测单元内的最佳变量组合与有利变量。在地质变量处理的基础上，利用已优化的变量进行统计单元的定位、定量预测，在统计单元中筛选出成矿有利的单元。

6、最后，根据单元变量的统计计算结果，对所划分的预测单元进行金、多金属矿产资源潜力评价。

1.4.2 工作量

本次预测研究始于2007年9月，围绕着预测做了以下研究工作。

1、资料收集

1：20万地质图8幅，1：20万航磁数据，1：20万水系沉积物化探数据共6504个样品，每个试验分析的项目为Au、Cu、Co等共39个项目，典型矿床资料等。

2、数据处理

①航磁数据处理

1：20万航磁数据处理，主要是化极、向上延拓（4个高度），不同方向水平一阶导数计算，垂向二阶导数计算，形成图件28幅（图1.1）。

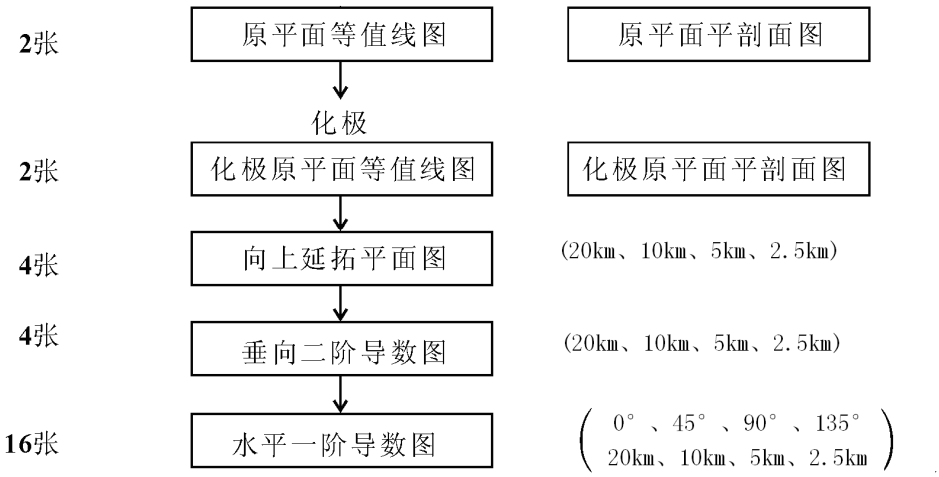


图1.1　航磁数据处理流程图

②化探数据处理

处理微量元素6种，绘制了元素数据图、背景图、异常图共18张，利用因子分析和泛克里格方法计算。

3、解释

①航磁资料解释：共编制图件30幅，编制最终推断构造图件2幅

②地球化学资料解释：共编制地球化学图23幅，圈定单元素异常图6幅，元素组合异常图5幅，其它为过渡性图幅。

4、信息关联

①地质类子图系

根据控矿因素分析划分图层，将地、物、化信息关联进行解译。地质类子图系是综合信息解译的地质基础。1．地质图层：前寒武系、下古生界、上古生界、中生界及新生界。2．岩体图层：超基性、基性、中酸性、酸性、碱性岩体及其年代。3．火山岩图层：下古生界、上古生界、中生界、新生界。完成了地物化信息的关联关系研究，编制关联图件 6 幅。

5、矿产资源预测

结合已知矿床和典型矿床总结出成矿规律，利用建立的找矿标志，在各种成矿信息异常的最小范围内或浓集中心为划分统计单元的依据，进行研究区单元的划分。在统计单元中进行变量的选择、提取、赋值、优化等数据处理，采用统计计算和地质统计分析来选择已知单元与预测单元内的最佳变量组合与有利变量。在地质变量处理的基础上，利用已优化的变量进行统计单元的定位、定量预测，在统计单元中筛选出成矿有利单元。构建了金矿综合预测图1幅。

第 2 章　综合信息矿产资源预测理论与方法

2.1　综合信息矿产资源预测的基本理论[28-30]

综合信息矿产资源预测方法是以研究区的地质构造环境和所预测矿种的已知矿床（点）入手，综合分析矿床的成矿规律、成矿控制条件[31]。在此前提下对各种地质、地球物理、地球化学等资料进行解释，对直接、间接信息的关联，深化对已取得的地质规律的认识，建立以找矿为目的的综合信息找矿模型；研究矿化单元的边界条件；划分出不同等级的地质统计单元，研究信息以矿产资源特征间的关系，选择最佳的地质变量组合；在地质统计学方法下，利用计算机程序对综合信息找矿模型转化成定量评价模型，将其外推到地质构造环境相似的预测单元，实现对资源特征的定位评价和定量估计。

综合信息找矿预测理论是基于系统论思想和解决地质调查工作现实矛盾过程中逐步发展起来的，强调把研究的对象看作为一个系统，从系统出发来研究系统内的组成要素，研究各组成要素之间的关系和系统与环境之间的关系。用系统科学方法处理问题，尽量采用各种逻辑语言和数学工具使系统得到较精确的定量描述，以反映出系统发展变化的规律。基本理论主要包括综合信息找矿模型、模型的数据转换、资源评价的定量模型、评价成果的表达，如图（2.1）所示。

2.1.1　综合信息找矿模型

综合信息找矿模型是以成矿控制条件分析、成矿规律总结、找矿直接标志、间接标志识别和关联为基础，刻划成矿控制条件和预示矿化存在或可能存在的综合信息系统所构成的地质概念模型[32, 33]。主要包括有以下几个方面的研究内容：在地质先验的前提条件下，对研究区地球物理、地球化学（重砂、化探）和遥感资料进行综合解释，编制评价目标的单一信息有关图件，如地球物理构造推断图、地球化学水系沉积物组合异常图系、遥感构造解译图系等，在已知矿床研究取得的基本认识编制综合信息预测图；确定可能级别的矿田、矿床统计单元的定义域；；根据国家有关技术要求确定预测的有效深度和最低品位。综合信息找矿模型作为“评价”的重

要成果，主要有两方面的作用：1、成果可以直接应用于当前的实际找矿工作中，对找矿方向具有重要的指导意义，成矿远景区的划分、靶区的圈定和如何评价靶区以及评价方法的合理选择提供依据；2、成果为统计单元的划分、地质变量的选择、定位定量评价模型的建立和预测成果的解释等一系列后续各项工作的进行奠定基础。可以看出，综合信息找矿模型在“评价”过程中处于重要的地位[28, 31]。

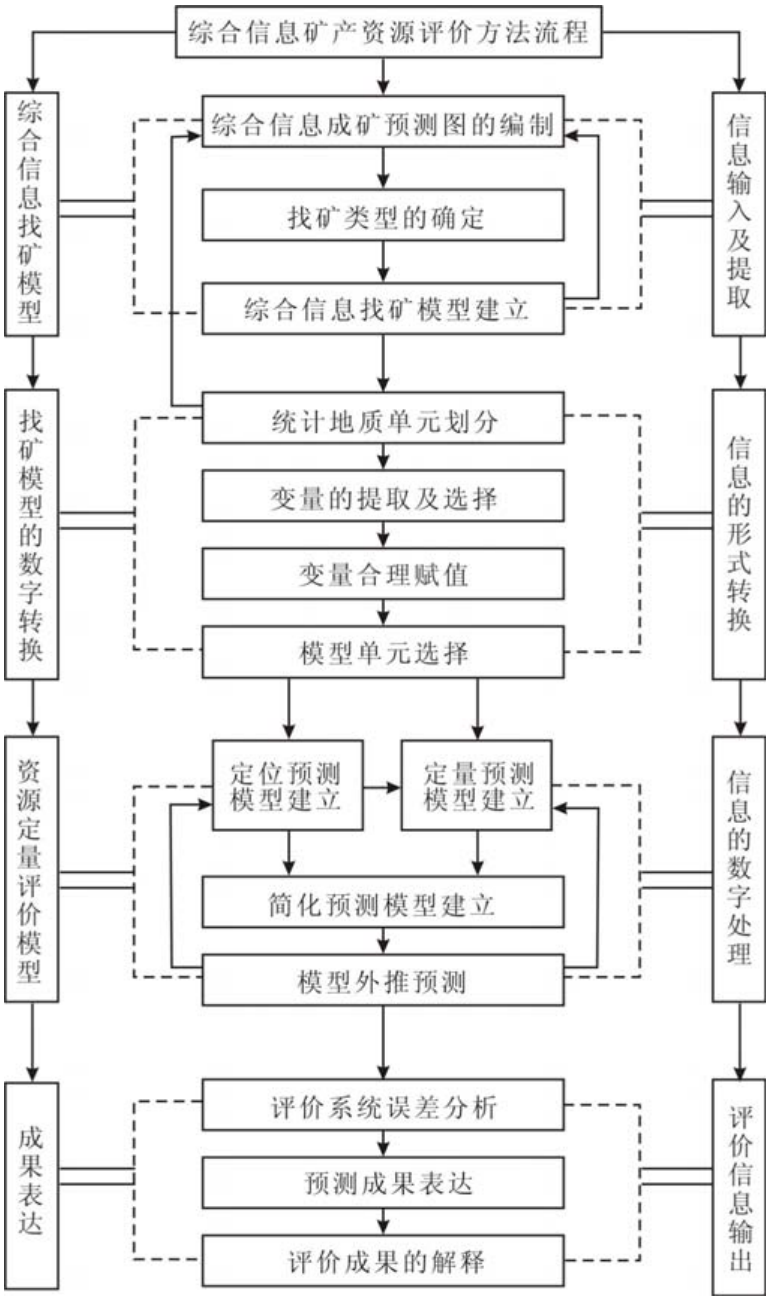


图2.1　综合信息矿产资源评价方法流程图

（引自：王世称 1990）

2.1.2 综合信息找矿模型的数学转换

综合信息找矿模型是一个理论模式，在评价过程中占有重要的地位，但该模型不是一个定量评价模型，不能直接用于定位定量预测，为此需要对综合信息找矿模型进行加工、改造、转换，使之能够运用数字形式来描述。主要包括以下几个方面的内容：

1、单元的划分

进行综合信息成矿预测的首要工作是要进行统计单元的划分和统计变量的提取和赋值。目前，在成矿预测中应用的比较多的单元划分方法有两种：规格网格单元和地质体单元。规格网格单元划分原则统一，方法简便易于掌握，它不受地质工作程度的不平衡性所限制，网格化单元独立，但易于破坏控矿信息的完整性，使单元的地质意义失真，单元与单元之间的统计规律可能发生畸变，失去统计分布的规律性，同时还会造成统计成果的多解性。地质体单元是对评价的矿产具有明显的控制作用的地质条件和找矿意义明确的标志确定地质统计单元的方法，从根本上解决了网格单元划分上的缺陷，划分的单元必须从地质成矿母体的构成等因素的角度、抽样方法等方面出发，确保单元划分符合统计和地质两方面的完整性、独立性、典型性等特点。常用的单元划分方法主要有地质单元法、成矿信息综合异常法、成矿信息量聚集中心法等。

2、地质变量研究

地质变量是矿产资源特征估计函数的基本元素，评价工作都紧紧依赖于地质、地球物理、地球化学、重砂、各种现代的测试手段和分析方法所取得的成矿或控矿信息，这些成矿控矿综合信息大体上可分为两大类：定性信息和定量信息，概括为综合信息变量。综合信息变量由于它所含有的控矿信息类型的不同而决定了变量的主要功能。变量研究的主要目的是从众多的信息中确定和提取与成矿和控矿有关的信息变量，研究它们之间所具有的内在联系、相互作用、制约和控矿有利程度，从中优选出最具有指示意义和控矿功能较强的变量以及构成的最佳标志集合，建立最优统计模型，实现定位、定量预测的外推和优选。

3、模型单元选择

定量评价模型的建立涉及到模型样品的使用，为了取得较理想的预测效果，建立高质量的定量评价模型，使用的模型单元必须属于同一地质母体。同一地质母体

单元之间的相似程度高，而不同母体单元的相似程度相对较低。单元间的相似性是由刻划单元的地质条件决定的。由此可以通过对地质条件的分析，通过地质归纳法和数理统计方法断定单元的归属来确定使用的模型单元，所选择的单元往往也是一些资源特征已知的单元，具有典型代表性的成矿地质条件、综合控矿信息等，如已知的矿化单元、已知的储量单元等。这样的母体选择方法仅仅只有统计意义，并不强调单元在某种成因上的意义统一。

综合信息找矿模型的数学转换是资源评价的重要环节，在找矿模型和定量评价模型之间起到连接作用，使概念模型转化为定量模型成为可能。

2.1.3 综合信息矿产资源定量评价

资源评价包括地质评价和经济评价两部分组成。由于经济评价影响因素很多，又比较难于掌握，经济评价还仅仅是理论上的设想，目前所进行的评价实际上是地质评价。地质评价的对象主要是资源的位置、资源的数量、资源的质量三个方面。地质评价是对资源位置的估计，对成矿预测单元进行最佳的定位优选，而后进行资源量的计算，优选出来的最佳预测单元和已知的矿床进行资源量评价，评价工作过程主要是用定位评价模型估计所有单元的成矿可能性的大小，并根据成矿概率的大小确定矿床存在的单元，继而用定量评价模型对矿床存在的单元进行估算，计算出每个单元的资源量或研究区的资源总量。

2.1.4 成果表达

资源预测成果的表达对预测成果的应用和推广具有重要影响，资源预测的成果不仅对资源量做出表达，而且根据资源预测的目的要求不同，预测成果也是多方面的。成果表达一般由一系列的预测成果表现形式组成，根据矿产资源预测目的的要求，可包括：各种资源指标，如矿床个数、品位、资源量和资源位置等的概率分布表达形式；资源定量预测图形式；资源总量和资源潜力及其级别。

2.2 综合信息成矿预测系统方法

综合信息成矿理论体系是在理论研究的基础上和实际找矿工作中不断的完善

和丰富的，是以地质理论为先验前提条件，以地质体和矿产资源体为目标，通过对地质、地球物理、地球化学、遥感等多元信息的研究，对这些信息进行解释，建立综合信息找矿模型和综合信息预测模型，以预测模型作为工具对研究区进行系统的评价[34]（图2.1），主要有以下几个方面的特点：

1、综合信息成矿理论必须以地质理论先验为前提，各种地质理论和科研成果对地质体集合和矿产资源集合体的统计、观察、度量的结果，这些成果刻划的规律带有不均衡性和相对性，随着观察程度的变化而变化，并不是绝对的，带有统计的特点。因此，这种认识对成矿规律只起到一种导向作用。只有以地质理论为先验前提，采用合理的分析方法，才能将有用的信息从资料中提取出来。

2、综合信息成矿理论的研究对象是地质体和矿产资源体，地质体是矿产资源体的控矿因素，由于地质体的复杂性，导致相同的地质体反映出不同的地球物理、地球化学场；相同的地球物理、地球化学场可以反映出不同的地质体，这种多解性实际是对某一地区所有地质单元作为一个整体来观测的，是所有个体的总体反应。所以，只有在地质理论先验前提下，以地质体和矿产资源体为单元，进行各种信息的相互关联、转换和解释，才能有效地避免地质观测不统一性和多解性，全面地刻划地质体和矿产资源体的客观面貌。

3、各种地质资料都有其自身的理论系统和基本的工作方法，利用这些资料在一定程度上进行信息挖掘，所获得的信息进行有序、理性的提取和关联，并运用于综合信息成矿理论。

4、在成矿模型理论先验前提下，从找矿的角度出发，总结客观存在的找矿标志、前提及其综合信息特征，形成一种统计性的找矿模式，即综合信息找矿模型。在此基础上，通过直接信息和间接找矿信息的关联和合理的信息转换，建立以间接找矿信息为主的，适合研究区程度的综合信息预测模型。

5、综合信息找矿模型是已知的矿体、矿床、矿田等的共性规律的总结，一般的规律是研究程度高的地区易于建立找矿模型，但资源潜力小；研究程度低的地区，资源潜力大。综合信息找矿模型要运用到研究程度低的地区，必须注意信息的不平衡性。因此，必须合理的简化模型，使这种模型利于运用到研究程度低的地区，同时不失去综合信息找矿模型的基本功能。

综合信息找矿模型和综合信息预测模型是对研究区进行评价工作的主要工具，

模型的建立是与研究区的成矿规律紧密联系的，并不是简单的地质现象的规律总结，而是各种致矿信息的综合体现。为了清晰表达找矿模型的客观真实性和成矿预测的资料特点，通常是在综合信息解释的前提下分别建立地质、地球物理、地球化学等单信息模型。在消除区域信息不均衡的基础上进行找矿模型和预测模型的转换，实现综合信息预测及模型推广。

2.3 综合信息中比例尺成矿预测

中比例尺综合信息成矿预测的比例尺一般在 1：10 万至 1：50 万之间，矿产资源信息主要来源于地质矿产普查阶段的各类资料、少部分详查和勘探阶段的地质资料以及典型矿床勘探与开采资料。中比例尺综合信息成矿预测研究的重点仍然是区域地质、地球物理、地球化学、重砂和遥感资料的综合解译。构造、化探和典型矿床剖析研究可以视研究区的具体情况加以取舍。在中比例尺综合信息成矿预测研究中，矿产资源体的圈定通常以多级汇水盆地网系图为基础，通过地质、物化探、重砂和遥感等信息的有机关联与综合，可以圈定原生矿床所在最小汇水盆地、重砂和化探异常所在最小汇水盆地，进而圈定出研究区内所有的矿产资源体，并对其作定量评价。

根据与不同比例尺成矿预测的目的、精度、理论体系、方法实用性、成矿信息变量的综合性、方法选用等方面的对比，选择适合于本次工作研究的比例尺进行成矿预测十分重要。结合研究工作的主要目的，采用中比例尺对吉林省白山地区的金、多金属矿床的地质特征、成矿条件、控矿因素等信息进行研究，寻找金矿的远景区[11][17][35]。

第 3 章　区域地质、地球物理及地球化学特征

研究区位于吉林省白山市地带。白山市位于吉林省东南部自然风景秀丽的长白山西侧，东经 126°07′至 128°18′，北纬 41°21′至 42°48′。东与延边朝鲜族自治州相邻；西与通化市接壤；北与吉林市毗连；南与朝鲜民主主义人民共和国隔鸭绿江相望。东西相距 180 公里，南北相距 163 公里。白山市交通通讯便利，通（化）白（河）、大（连）大（栗子）两条铁路贯穿南北，开通了泉（阳）丹（东）、白（河）长（春）铁路旅客列车。境内公路全长 2,100 多公里， 连接市县城乡（图 3.1）。

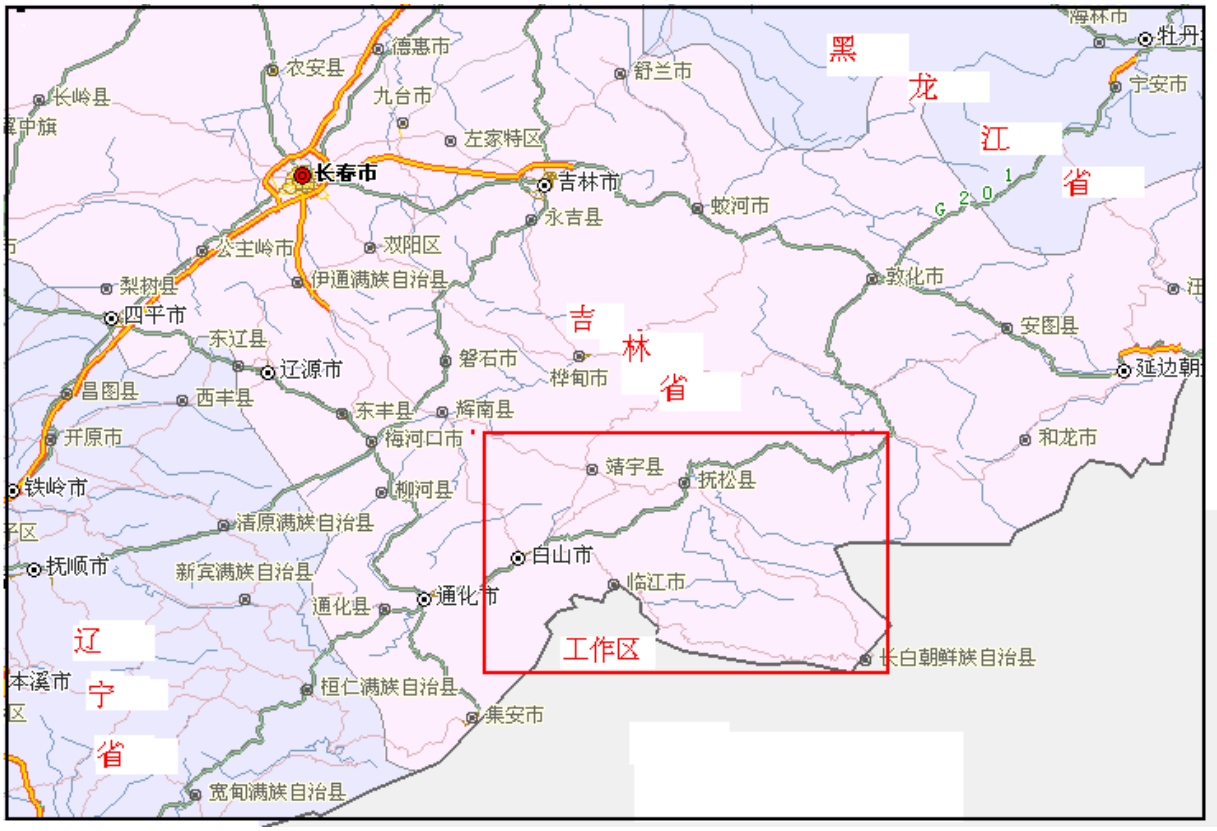


图 3.1　交通位置图

白山市境内山峰林立，绵亘起伏，沟谷交错，河流纵横。长白熔岩台地和靖宇熔岩台地覆盖境内大部分地区，龙岗山脉和老岭山脉斜贯全境。龙岗山脉海拔 800-1200 米，相对高度在 500－700 米之间；老岭山脉山体高大，海拔 1000－1300

米，相对高度 500－800 米之间。鸭绿江沿岸地形起伏较大，沟谷切割较深，地势较险峻。境内最高点长白山主峰白云峰海拔 2691 米，为东北地区最高峰；最低点靖宇县的批州口子，海拔 279.3 米。主要河流有鸭绿江、头道松花江、二道松花江、浑江等。

白山市已经发展成为以煤炭、木材、电力、医药工业为支柱，以冶金、机械、塑料、造纸、纺织工业为骨干的门类比较齐全的新兴工业城市。木材综合利用、能源、有色金属冶炼及加工、特产药材和塑料制品等行业在国内占有重要地位。

3.1 区域地质特征

3.1.1 地层

一、沉积建造特征（图 3.2）

（一）太古代花岗岩-绿岩建造

1.花岗岩-绿岩建造的分布区域

花岗岩-绿岩建造主要分布在通化旺文川—白山板石沟一带，在靖宇、抚松、临江等地可见零星出露。总体呈带状分布。层序出露不全，一般未见顶底，保存厚度为 1～4km。与国外典型绿岩带相比，规模较小，大多形成于新太古代的岛弧环境[36]。

2.上壳岩岩石类型及组合特征

岩石由变质上壳岩和 TTG 岩类组成，上壳岩所占比例较小，TTG 约占出露面积的 70%左右。上壳岩岩石组合为斜长角闪岩、斜长角闪片麻岩、黑云变粒岩、黑云片岩浅粒岩和磁铁石英岩等。原岩为镁铁质火山岩、中酸性火山岩和正常沉积碎屑岩。其中斜长角闪岩与金成矿关系密切，磁铁石英岩为 BIF 型铁矿的直接围岩。

（二）古元古代裂谷建造

1.裂谷早期集安群

该岩系主要分布于临江市以北部的花期镇一带，以含硼、含石墨、高铝为特征，由旋回比较清楚的火山岩、碎屑岩、碳酸盐岩等沉积变质岩组成，为裂谷早期沉积产物。经受了多期变质变形，褶皱发育，断裂纵横交错，是一套复杂褶皱变质岩系。

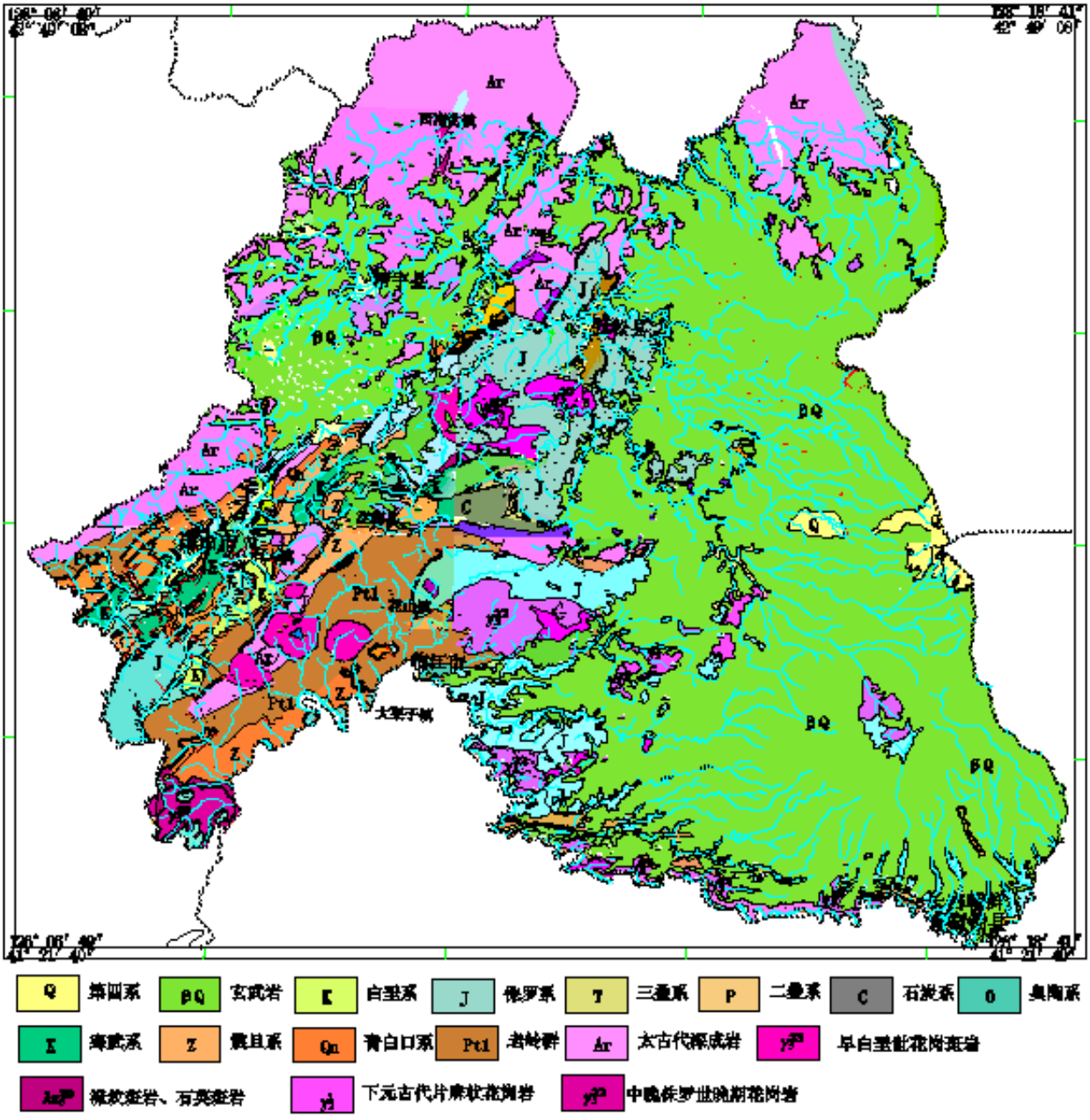


图 3.2　白山地区地质图

集安群下段的蚂蚁河组，以含硼为特征，主要岩石类型有斜长角闪岩、黑云变粒岩、透辉变粒岩、钠长浅粒岩、电气变粒岩、电气石英岩、白云质大理岩、蛇纹橄榄白云质大理岩等，原岩恢复为玄武岩、偏酸性火山岩、流纹质岩石、含硼硅质岩、白云岩、白云质灰岩等，自下而上，基性岩由多变少，酸性岩由少变多。其同位素年龄为 2308Ma（U-Pb 法）[37]，与辽东地区含硼岩系同位素年龄 2355Ma、2427Ma（U-Pb 法）、2206Ma（Rb-Sr）基本吻合[38]。

集安群中段荒岔沟组以含石墨为特征，主要岩石类型有含石墨黑云变粒岩、含石墨透闪透辉变粒岩、含石墨浅粒岩、石墨变粒岩、黑云片岩、含石墨大理岩和斜长角闪岩，原岩为碱性玄武岩、二长安山岩、英安质凝灰岩、流纹质岩石、灰岩、白云质灰岩、细碎屑岩等，自下而上，反映出基性-酸性火山喷出岩沉积旋回。其同位素年龄为 2030Ma（Pb-Pb 法）[37]。

集安群上段大东岔组为一套以陆源碎屑堆积为主的沉积变质岩，以多硅高铝为特征，底部以石英岩为标志，主要岩石类型有片麻岩夹变粒岩、浅粒岩、石英岩等。原岩为含砾长石石英砂岩、石英砂岩、粉砂岩、粉砂质粘土岩和粘土岩[39]。

据岩石组合、原岩恢复、沉积建造、岩石化学特征分析，蚂蚁河组沉积期火山活动频繁，沉积环境极不稳定，火山活动带来大量的硼，在强氧化条件下形成了辽东-吉南大批硼矿床，说明当时为海水含盐度较高的泻湖相。荒岔沟组沉积期大量有机碳的存在，表明生物已开始出现，岩石中普遍含有沉积成因的均匀分布的细粒黄铁矿，表明当时处于热水沉积环境中，气候条件也由炎热向温湿转变。

集安群变质岩系经历了多期次变质变形作用而形成复杂的变质岩石组合，其变质作用经历了由绿片岩相-低角闪岩相-高角闪岩相递进变质作用的叠加，同时叠加了晚期的退变质作用。

2.裂谷晚期老岭群

老岭群主要出露于研究区内通化县新农村-四方山-白山市板石沟一线以及江源县小四平-临江市-白山市七道沟一带。其变质岩石类型自下而上分别为石英岩-浅（变）粒岩组合，（白云质）大理岩、二云片岩、石榴二云片岩、十字石二云片岩夹大理岩、石英岩及绢云千枚岩的岩石组合序列。该群由下而上划分为达台山组、珍珠门组、花山组、临江组、和大栗子组，分述如下：

达台山组：主要分布在老岭西侧的白山市红土崖-二道羊岔一带，岩石类型为一套变质长石石英岩。岩层底部与太古宙地质体接触地带普遍发育一层含砾石长石石英岩或复成分变质砾岩，尽管二者可识别的接触关系为构造（韧性剪切带）接触，但从砾石成分大多为太古宙长英质片麻岩、磁铁石英岩等特征来看，推测其不整合于太古宙地质体之上。

珍珠门组：广泛分布于老岭山脉两侧，下部为厚层-块状白云质大理岩，夹含碳质条带大理岩、方柱石大理岩，局部夹变质中细粒砂岩、粉砂岩，其中部分白云质大理岩可构成大型白云岩工业矿体；该组上部为薄层条带状大理岩、硅质条带白云质大理岩以及角砾状大理岩。

花山组：主要分布于老岭山脉南麓，岩性以片岩为主。其下部为云母石英片岩夹十字二云片岩和四层大理岩；中部为绿帘二云片岩、二云石英片岩、磁铁二云片岩夹三层大理岩；上部为十字二云片岩夹五层大理岩。

临江组；分布相对较局限，仅在临江市周边出露，主要岩性为中薄层石英岩、厚层石英岩夹二云片岩、十字石二云片岩、二云石英片岩，原岩为一套成熟度较高的石英砂岩夹泥质岩。

大栗子组：分布在临江市大栗子镇—白山市三道沟一带，主要岩性下部为青灰色绢云千枚岩，中部为绿泥绢云千枚岩夹大理岩，上部为棕褐色、深绿色、紫色千枚岩或与大理岩呈互层状，与中部分界处有一层岩性极为特殊的角砾岩。大栗子铁矿主要工业矿体多集中在该组上部千枚岩与大理岩的互层带中。

（三）晚元古代-古生代沉积建造

晚元古代，研究区沉积了青白口系、震旦系陆源碎屑岩及灰岩建造和古生代浅海相碎屑岩、碳酸盐岩沉积，主要为粗粒、中粒、细粒长石石英砂岩、石英砂岩、海绿石石英砂岩、砂砾岩、灰岩、页岩等，以沉积巨厚的砂岩及灰岩为主要特征。

（四）中生代沉积层

研究区中生代沉积层主要由三叠纪-白垩纪的陆相火山岩、火山碎屑岩及陆源碎屑岩建造构成，因金属矿床成矿多与火山岩有关，且火山作用在一定程度上反映了中生代的构造演化环境，所以以下重点对中生代火山岩建造加以阐述。

二、中生代火山岩建造特征

①三叠纪火山岩

该套火山岩分布于浑江市闹枝沟一带，为呈近东西向展布的中酸性火山岩系，由熔岩角砾岩-中性、中基性熔岩-中性熔岩及熔岩集块岩构成多个喷发旋回。

②侏罗纪火山岩，

侏罗纪是研究区乃至泛东北地区火山活动最强烈的时期，该期形成了柳河盆地、三源浦盆地、果松盆地、抚松盆地及白水滩等多个火山岩盆地。在临江-长白-漫江一带有零星出露。侏罗纪火山岩主要岩性为火山凝灰岩、安山岩、火山角砾岩、流纹岩、石英粗安岩等。

③白垩纪火山岩

区内白垩纪火山岩不发育，仅出现于石人盆地及内。该火山岩为一套中基性、中性、中偏酸性火山岩建造，主要岩石类型为辉石安山岩、角闪安山岩、杏仁状安山岩、粗面安山岩、安山质角砾岩、流纹岩等。

3.1.2 构造

一、大地构造背景

研究区位于华北板块北缘东段，其发展演化历程可归结为三个大的地质阶段[2]，即地槽发展阶段（太古—早中元古代），准地台发展阶段（晚元古代—古生代三叠纪），滨太平洋大陆边缘活化阶段（三叠纪—新生代）。在时间上经历了太古、元古、新地三大区旋回。长期的复杂的发展演化过程造就了本研究区的具体独特特点的地质特征。

研究区早期地壳演化经历了太古宙陆核地体的形成、拼贴，古元古代吉南裂谷的拉张、闭合，中元古代北部边缘地体的挤压拼贴等阶段后，步入稳定发展期，总的构造演化特点是地壳由简单到复杂，由薄变厚，由简单褶皱至复杂褶皱形态，以及断裂（韧性剪切带）发育的演化过程。新元古代-古生代，出现局部裂陷，堆积了陆源碎屑岩-碳酸盐岩建造。中生代滨太平洋构造运动，受挤压、拉张应力作用，区内出现多处断陷盆地，且沿挤压-拉张构造带发生强烈陆相火山喷发及岩浆侵入活动，并形成了以北东向为主体的复杂断裂构造格局。新生代太平洋板块的持续作用，造成大量基性火山喷发，致使研究区东部基本为玄武岩所覆盖。区内断裂构造发育。有深达地幔的超深断裂，也有地壳表层的浅层次断裂；有韧性剪切形成的韧性剪切带，也有脆性张裂构造；具规模大小不等、方向各异、性质不同等特点。

在空间上不同性质的构造单元成矿系列不相同；在时间上不同发展阶段成矿的继承和新生作用也有所差异。在多种形式的叠加改造——再富集，新贫化、重就位，

遭破坏等过程中，致使本区各成矿带，乃至某一具体矿床，往往形成多源、多阶段、多期次，多成因和受多因素控制的成矿作用。这在荒沟山钴、金、银、铜、铅、锌、硫“S”型矿带中表现尤为突出。

二、韧性变形构造

研究区韧性剪切带在区域上主要分布于华北地台北缘东段地台边缘、龙岗古陆边缘与及老岭背斜东南翼。主要韧性剪切带有：王家店-天合兴-光华韧性剪切带、荒沟山韧性剪切带，现分述如下。

1、王家店-天合兴-光华韧性剪切带

该韧性剪切带发育在吉南太古宙联合地体内部，北从王家店向南经那尔轰、天合兴至赤松岭一带，走向近南北，长50km，宽2～5km[40]。剪切带内岩石以糜棱岩化花岗岩为主，含少量糜棱岩化斜长角闪岩，岩石具眼球状、条带状及片麻状构造。受挤压剪切作用岩石发生强片理化、普遍糜棱岩化，局部发育有平卧褶皱、不协调褶皱、石香肠褶皱和鞘褶皱等构造。与韧性剪切变形相伴随的岩石变质作用为绿片岩相退化变质，特别是糜棱岩化强烈地段，细粒化的糜棱基质几乎全部变为绿泥石、绢云母和石英，并且在塑性变质变形过程中形成新的矿物条带[41]。

韧性剪切带在发展演化过程中伴有多次岩浆活动，新太古代晚期韧性剪切带形成之初，钾质岩浆侵入和交代作用显著，并有大肚川、天合兴等基性-超基性岩浆岩群出现，中生代后，沿剪切带又有沙河子石英斑岩、兴华花岗斑岩等大量花岗质岩浆侵入，可以说是一个生成早、活动时间长的构造带。

2、荒沟山韧性剪切带

该带位于吉南古元古代裂谷地体内，展布于老岭一带古元古代珍珠门组大理岩与花山组片岩接触带附近，东北起自小四平，向西南经荒沟山、横路岭延至南岔一带，总体呈北东向“S”形展布，长约70km，宽约4～5km。北西侧珍珠门组岩石主要为糜棱岩化大理岩和角砾状大理岩。糜棱岩化大理岩呈角砾状、透镜体状产于角砾状大理岩中，野外见条带状、眼球状及糖粒状构造，镜下见双晶弯曲、亚颗粒、核幔构造等。糜棱岩经后期构造活动破碎，出现角砾岩带。南东侧花山组泥质岩中矿物重结晶、拔丝条带、核幔构造等韧性变形特征也很明显。剪切带在各岩组内宽窄

不一，临江组中剪切带较窄，多在几米至十几米尺度，珍珠门组、花山组中宽度较大，百米至公里尺度多见[42]。

本区出现中条运动（1700Ma）的同时，北部西伯利亚板块于中元古代早期经历了维堡运动（1650～1700Ma），南部的印度板块发生了德里运动（1600～1700Ma）[43]，体现出此次构造运动的全球性特点。它不仅使此前形成的，包括老岭群在内的地质体经受了普遍的区域变质作用，而且将原近东西走向的古元古代裂谷系在辽宁东部、吉林南部、朝鲜西部形成向北突出的弧形，局部的剪切应力使老岭群部分地质体发生了剪切变形，形成了荒沟山地区广泛的韧性剪切带。进入中生代后，随着老岭地区的整体抬升，鸭绿江断裂左旋滑动造成了荒沟山地区的北东-南西向的压力，形成多条平行的压扭性断裂构造的同时，使断裂带和区域地层整体弯曲变形，形成了现今的“S”形构造带。后期的局部拉张作用使该建造作为老岭变质核杂岩体系的盖层，出现了沿断裂带的逐次滑脱，产生了大量的角砾状大理岩，为成矿提供了运移通道和存储空间。

三、脆性断裂构造

各不同时期构造运动均形成一系列的性质不同、规模不等的断裂构造，这些断裂构造相互影响和切割，使本研究区的构造格架变得复杂化，研究区内的鸭绿江断裂、本溪-通化断裂带为规模较大并长期活动的大型断裂，构成了研究区地质构造的主要骨架。

1、鸭绿江断裂带

鸭绿江断裂带以北东向贯穿整个研究区，是区内最大的断裂构造系统。断裂由辽宁省沿鸭绿江进入本区的集安，向东北经松江、明月镇入黑龙江省，亦有集安-松江断裂之称[43]。断裂带在长期活动中对沉积建造、岩浆活动具有明显控制作用，为重要的构造-岩浆岩带。

断裂带在区内走向稳定，为北东 45°左右，带宽约 30km，由一系列与主干断裂平行、斜交和弧形断裂组成。断裂附近地层产状零乱，岩石极其破碎，并遭受糜棱岩化，破碎带宽 30～50m 及更宽。断裂在桦树以南，控制了下古生界及中生代沉积建造，并使之发生相对位错，构造形迹明显；在桦树以北至两江段，被新生代玄武

岩覆盖；两江往北又重新出现，并切割了晚三叠世、中晚侏罗世地层及中生代侵入岩，使太古代变质岩系、震旦系与侏罗纪地层呈压剪性断层接触，一般称该段为两江断裂，在左旋平移应力场作用下致使富尔河、古洞河断裂带以逆时针方向发生30km的水平位移。

鸭绿江断裂带在漫长的发展演化过程中，对岩浆活动有着重要的控制作用，造成了不同地质时期多期次、多旋回的岩浆侵位和火山喷溢。其岩浆活动主要发生在三叠纪、侏罗纪及新生代，形成了沿北东向展布的榆林、高台子、通沟、老岭村、幸福山、头道沟、梨树沟、老秃顶子、草山、遥林、蚂蚁河等侵入岩体及双岔、果松、闹枝、抚松等中-酸性火山盆地，构成了沿断裂带分布的北东向构造-岩浆岩带。

鸭绿江断裂带在长期演化进程中，遭受了复杂而强烈的动力变质作用，发生了由韧性、韧脆性到脆性的变质变形，在不同性质的构造应力场作用下，形成了一套复杂而又齐全的动力变质岩石类型。断裂中普遍发育有片理、叶理和牵引褶皱、平卧褶皱等构造现象，糜棱岩、超糜棱岩、片糜岩、碎裂岩、压碎岩等广泛出现，断裂带经历了韧性-脆性变形变质阶段[44]。

2、本溪-通化断裂

断裂带西起辽宁本溪，经通化、板石，东至抚松，全长数百公里。断裂西北侧为太古宙地体，东南侧为古元古代裂谷。其在重力场上表现为西北部平缓场与东南部复杂场的场区分界线，航磁场则为西北部强跃变场区与东南相对平稳场区的分界线。重磁场的较大差异亦反映了该断裂带两侧地质建造的重大差别，断裂带实质上是控制吉南裂谷形成的边界断裂。

3.1.3 侵入岩

区内侵入岩按基性程度可划分为基性-超基性岩、中性岩和酸性岩类，基性岩多以脉岩或岩株形式产出，常成群出现，中-酸性岩多以岩基或岩株状产出。

一、太古宙侵入岩

1、基性-超基性侵入岩：

在研究区内可分为三期基性—超基性侵入事件。一是以靖宇平地为代表的早期变质超基性岩群或岩体。岩石类型为滑石岩、透闪岩、蛇纹岩；呈脉状或团块状产

出；长数十米至百余米宽，宽数米至数十米；二是以靖宇天合兴为代表的中期超基性岩群，由变质辉石岩、角闪岩组成；呈盆状产出，面积两千平方公里左右。为区内重要的含磷岩体。三是以靖宇凉水变质基性岩脉或岩墙为代表的晚期基性事件，由辉长岩、辉长闪长岩或辉绿岩组成；规模较大长达数千米、宽达数十或者百余米，最大者长达万余米。

2、灰色片麻岩和变黑云钾长花岗岩：前者构成龙岗陆核的主体，占变质岩出露总面积的80%。主要由英云闪长岩及花岗闪长岩和奥长花岗岩组成，形成以英云闪长岩为主体的TTG岩系。岩石特征：一般为灰色，常具透入性片麻状构造，保留有多期变形面理置换所产生的M、N、I型变形条带及复杂的流变褶皱。矿物共生组合为：黑云母+斜长石+石英+绿帘石；黑云母+角闪石+斜长石+石英+绿帘石；角闪石+斜长石+石英+绿帘石。在板石沟地区获得锆石的Pb—Pb年龄2521±9Ma[45]，锆石U—Pb单点的年龄2538Ma[46]，与桦甸白山镇地区的“白山片麻岩”形成时代基本一致。后者主要分布于龙岗陆核的西南端，在板石沟—回头沟地区呈岩株状侵位于灰色片麻岩中。岩石特征：一般为浅粉色—粉红色、块状、弱片麻状构造；矿物组成，黑云母+微斜长石（或条纹长石）+少量斜长石+石英。岩体中亦可见大小不等的斜长角闪石、或磁铁石英岩等表壳岩包体。测得锆石单点U—Pb 年龄2380 Ma[46]。地质时代大体可与桦甸地区的“东北岔片麻岩”相比较。

二、元古宙侵入岩

花岗质岩石仅见于漫江镇西南转头山，柳树河子等地，于玄武岩台地中形成一北东向的基底岩系出露带。岩石类型较单一，由片麻状斜长花岗岩、黑云母斜长花岗岩组成。岩石特征：灰-灰白色、花岗—花岗变晶结构，片麻状构造。矿物组成：黑云母+角闪石+斜长石+石英；常有钾长石斑晶或条带沿片麻理出现，形成条带状或眼球状构造。总体特征近似于和龙地区的百里坪岩体（U-Pb年龄2293Ma）和大开岩体（锆石U-Pb平均年龄为1617Ma）。

除此，本区元古宙的中基性脉岩群活动较为频繁。除抚松北部白水滩地区呈群产出外，在临江荒沟山地区亦有发现。后者常构成辉绿岩—无矿闪长岩—含矿闪长岩—煌斑岩的侵入序列。

三、显生宙侵入岩

1.古生代侵入岩：仅在本区最北部龙岗陆块北部陆缘活动带出露少量寒武纪花岗岩。

2.中生代侵入岩：中生代早期，本区处于古亚洲域向滨太平洋构造域的转换期，在北方鄂霍茨克洋板块的挤压和古太平洋板块的俯冲作用下，本区的岩石圈发生了大规模的拆沉，造成上地幔岩浆上涌，晚期太平洋板块的侧向俯冲及俯冲带东移，所形成的走滑断裂和岩石圈减薄，更加剧了区内的岩浆活动。

3.晚三叠纪花岗岩：主要见于三个地区。一是老岭区，有老秃顶子、草山、梨树沟、遥林等为典型岩体。老秃顶子岩体出露于老岭山脉老秃顶子山一带，呈浑圆状，面积约 61.2 km^2。岩体岩性单一，主要岩石类型为似斑状黑云母花岗岩，普遍有碱质交代现象。岩体侵位于太古宙地质体和老岭群珍珠门组大理岩中，内接触带岩石中可见到黑云斜长角闪岩及黑云母变粒岩小捕虏体，大理岩捕虏体则更为常见。结合矿物特征分析，岩体形成深度属半深成相小岩株，剥蚀深度为中-浅等。岩体的化学成分及微量元素特征见表 3.1 和表 3.2。二是蚂蚁河岩体，空间上与晚三叠系火山岩共生。亦是二长花岗岩和钾长花岗岩组成的复式岩体。岩石为浅粉色—肉红色及灰白色，细粒—中粗粒花岗结构，矿物组成由微斜条纹长石（30-40%），斜长石（20-35%），石英（25-30%），黑云母（2-10%），副矿物为锆石—磁铁矿—磷灰石型。岩石化学以富硅富碱为特征，成因类型近似同溶型或 I 型花岗岩。三是抚松北部沿江出露的五道溜河序列的夹卵沟单元的石英闪长岩，宝石村单元的二长花岗岩和孤石沟单元的花岗岩。

表3.1　研究区主要岩石岩体化学成分一览表

采样位置	岩体	样品数	氧化物（重量%）												
			SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	P_2O_5	烧失	总和
草山岩体	似斑状巨粒黑云母花岗岩	12	73.6	0.19	13.7	1.11	1.01	0.08	0.47	1.31	3.6	3.81	0.07	0.99	99.8
梨树沟岩体	似斑状巨粒黑云母花岗岩	12	71.1	0.23	14.7	1.19	1.37	0.05	0.65	2.43	4.08	3.5	0.09	0.53	99.9
老秃顶子岩体	似斑状巨粒黑云母花岗岩	3	68.7	0.31	15.9	0.84	1.95	0.05	0.38	2.65	4.44	2.61	0.15	0.83	99.6

表 3.2　研究区主要岩体微量元素平均含量一览表

采样位置	岩体	样品数	各元素含量平均值（10^{-6}）							
			Au	Ag	Cu	Pb	Zn	W	Sn	Mo
草山岩体	似斑状巨粒黑云母花岗岩	3	0.0015	0.04	13.4	16.87	34.67	34.67	2	0.75
梨树沟岩体	似斑状巨粒黑云母花岗岩	2	0.0017	0.25	13.57	19.9	41.6	22.3	1.93	0.87
老秃顶子岩体	似斑状巨粒黑云母花岗岩	3	0.0032	0.04	22.5	17	44	21.27	2.08	1.11
采样位置	岩体	样品数	Rb	Sr	Ni	Co	Mn	Cr	V	Ti
草山岩体	似斑状巨粒黑云母花岗岩		108.1	213.67	9.25	2.8	448.4	76.97	20.3	1242
梨树沟岩体	似斑状巨粒黑云母花岗岩		8679	430.77	8.17	3.27	365.1	60.3	35.3	1648
老秃顶子岩体	似斑状巨粒黑云母花岗岩		47.45	454	20.8	6.75	493.4	18.25	42.6	2335

注：表 3-1 和 3-2 引自长春科技大学 1997 年浑江金矿成矿控制研究报告。

中晚侏罗世花岗岩：该期花岗质岩石在本区主要分布于鸭绿江断裂带，与同期火山岩共生，构成火山—侵入深成朵岩带。与白山市三道沟镇南部和通化、集安接壤地段研究较好，建立了幸福山序列，划分出石青沟单元闪长岩侵入体；四道河子单元石英二长闪长岩侵入体；葛家大窝子单元二长花岗岩侵入体；半截沟单元钾长花岗岩侵入体。后二者分别获得Rb—Sr年龄160.66±6.3Ma；K-Ar153.4±2.1Ma。长白山地区和抚松地区的同期岩体，虽然没有进行谱系单元的划分，但依据所见岩石类型，如西桦皮甸子、汤河口、大夹皮沟—黑松沟等复式岩体，均大体可与幸福山序列相应的单元作对比。属于走滑—拉分张裂型花岗岩套。

早白垩世花岗岩：一是与早白垩世火山活动相联系的花岗岩，如在幸福山序列分布区所建立的头道沟序列，包括小烟筒沟中细粒钾长花岗岩，杨树排于单元似斑状钾长花岗岩。后者获Rb—Sr等时线年龄119.6±8.3Ma。另一是与火山活动无关，沿八道沟—十二道沟大断裂侵位的沿江复式岩体，研究程度较低。

在本区早白垩世晚期还见有一套特殊的小侵入体，以靖宇那尔轰地区所见为代表。沿那尔轰—天合兴断裂带构成一个长30Km，宽2-5Km的近南北向的小侵入体，呈小岩钟、小岩侏、岩脉、岩墙产出。岩石类型以碱长花岗斑岩为主，次为石英斑岩。依据相互间的关系—穿插切割，冷凝边、流动构造、包裹判别，先后发生5次贯入式侵位运动[47]。岩石特征：一般呈灰白、灰黄、灰绿、深灰及肉色，块状构造，

少斑、多斑或聚斑结构，斑晶5-65% ，有条纹长石（50%）、石英（35-40%）、斜长石（5-20%）、黑云母和角闪石（1-3%）。基质结构多样，有霏细、霏细—显微球粒、显微嵌晶、球粒、球粒嵌晶、显微球粒及过度结构等，成分为长英质。副矿物组成为锆石—钛铁矿—磷灰石型。依据岩石化学、地球化学及稀土元素分析资料，判别其成因类型属陆壳改造型或S型，构造环境主体受近SN向张性断裂控制。于那尔轰区全岩年龄样，测得其K—Ar年龄96Ma[40]。

四、 新生代次火山岩（超浅层侵入体）

在天池山锥体塌陷和破火山口形成过程，沿该火山机构所形成的环状和放射状断裂系由次火山岩或超浅成侵入体侵入到白山组和冰场组及白云峰组中，前者包括二长粗面岩、辉石粗面斑岩及粗面岩岩墙和碱流岩岩墙，后二者分别为凝灰岩墙和熔结凝灰岩岩墙。值得注意的是在上述二长粗面岩中发现有霓辉正长角砾岩，经K-Ar年龄测定，霓辉正长岩的年龄为2.85±0.06Ma[48, 49]。

3.1.4 矿产概况

白山市已发现矿产 100 种，其中探明储量的矿产 36 种。

白山市是依托矿产资源开发而崛起的新兴工业城市，白山市矿产资源十分丰富，开发历史久远，主要的矿产有煤炭、铁、金、铜、铅、锌、硅藻土、石膏、白云岩、石灰石、地热、矿泉水等。通化矿务局、通钢板石矿业公司、大栗子矿业公司、浑江铅锌矿（今浑江金矿）、临江铜矿、温泉疗养院等大中型国有矿山企业座落白山市，这些矿山企业的建立和发展，带动了电力、加工制造业、运输业、服务业等相关产业的发展，成为白山的支柱产业，为白山市乃至全省的经济发展做出了重要贡献。

3.2 区域地球物理特征

1．重力场特征

从地质演化角度进行重力场解译的首要问题是对前寒武纪隐伏基底的推断。沉积岩、火山岩经变质作用形成变质岩系，变质岩系的密度与相同成分的沉积岩、火山岩密度相比明显增强。区内变质岩系总体上具有相对高的重力场，变质岩系块体

的边界通常是重力梯度带。在变质岩系分布区的局部地段，变质岩系发生强烈的混合岩化或花岗岩化交代作用，所形成的花岗质岩体继承了围岩的重力场特征，但重力场密度明显降低，岩体的中心部位是重力相对低的中心，岩体的边界部位是重力梯度带。根据这一重力场标志可以圈定隐伏岩体。

本区重力场值（图 3.3）总体呈东南低、西北高的趋势，最低值在白头山-长白一线，场值低于$-90\times10^{-5}m/s^2$，高值区出现在靖宇-白山线以西，场值大于$-30\times10^{-5}m/s^2$。布格重力异常等值线总体呈北东向展布，等值线展布方向及局部异常轴向均呈北东向。漫江则转为南北向，围绕长白山天池呈弧形展布。

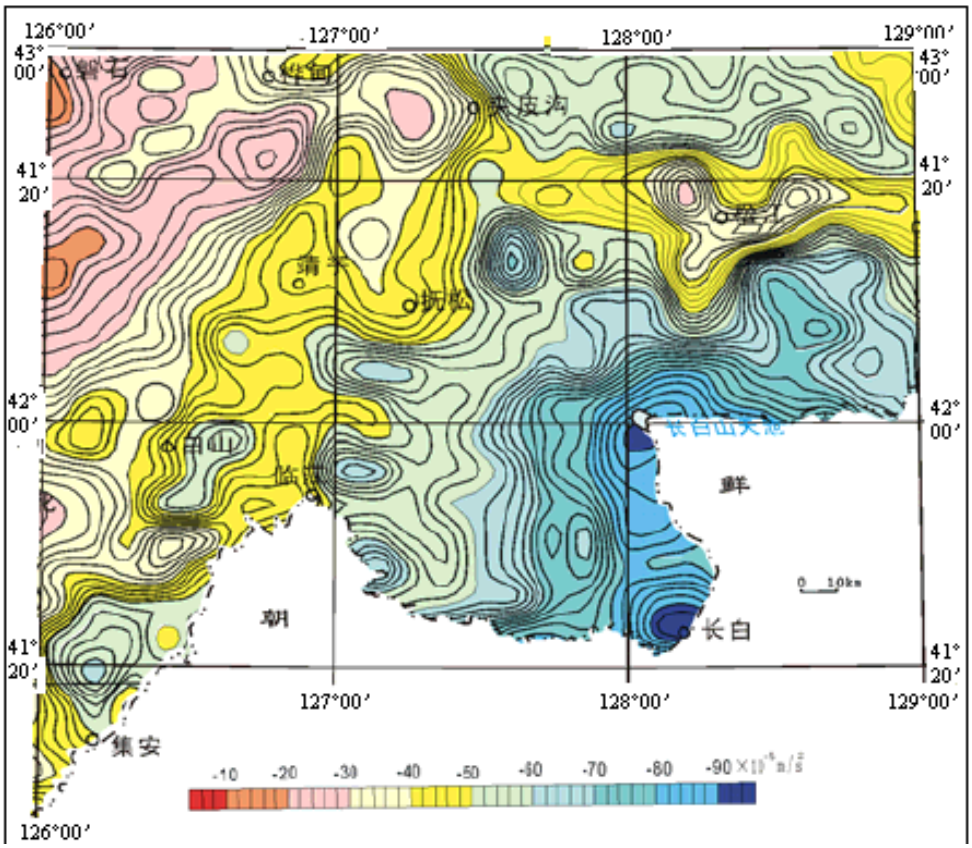


图 3.3　白山地区布格重力异常图

（据关键，2004）

2．磁场特征

地球是感磁体，地质体的集合也是一个感磁体。感磁必然形成斜磁化场。斜磁化场的梯度一般较大，具体表现是局部异常。北部为负异常，南部为正异常，正、负异常之间梯度较大。变质岩系的岩石物质成分变化在航磁磁场上反映为磁场的变

化，而不同类型的侵入岩体在磁场上的反映也是不相同的。早元古代花岗岩体以及华力西期花岗岩体多属于继承性岩体，它们的磁场与围岩的磁场具有一定的继承性。闪长岩具有强正场，花岗闪长岩为稍强正场，而花岗岩为弱正场，它们的磁场强度是由其基性程度决定的，即岩石基性越大，其磁场强度越强。

研究区航磁以大面积出现的正磁异常为主，磁化率一般在-320-780nT之间变化，根据磁场分布特征，研究区磁场可分为以下几个部分（图 3.4）：

1、白山市—靖宇高磁场区：为研究区内磁场强度较大的地段，磁化率最大值400nT，磁场走向呈北东向，在太安乡一带走向有所变化，为北西向。在蒙江乡以西、三道湖镇以东、龙湾林场以西以及东风林场以东磁场强度变化较快，在白山市附近，磁场强度变化不大。可以看出，该地段磁场的形态和梯度变化明显受制于断裂构造和太古宙基底的空间分布。

2、长白县的新房子镇—老岭林场高磁场区：为研究区内磁场强度最大的地段，磁化率最大值 780nT，磁场走向呈东西向。磁场强度、梯度变化均较大。该地段磁场的形态和梯度变化可能为新生代玄武岩引起。

3、抚松县仙人桥镇—西岗乡—槽子河林场高磁场区：磁化率 320-20nT 之间变化。槽子河林场附近磁场走向为北东向，磁场强度变化率较高，梯度变化较大，与鸭绿江断裂走向一致，可能为断裂构造所引起的磁场变化。

4、露水河镇高磁场区：磁化率强度在 300-20nT 之间变化，磁场走向为北西向。磁场强度变化率较高，梯度变化较大，与夹皮沟断裂走向一致，可能为断裂构造所引起的磁场变化。

5、抚松县燕平乡—万良镇—兴隆乡负磁场区：磁化率-320—-20 之间变化。磁场走向在花园口镇—万良镇一带走向为北东向，在燕平乡—东岗镇一带为东西向，在新屯子镇附近则变为北西向。整个区域磁场强度变化率较高，梯度变化较大。

6、六道岔—闹枝镇—负磁场区：磁化率-120—-20 之间变化。磁场走向在六道岔附近为北东向，在闹枝镇一带转为东西向，磁场强度变化较为平稳，表明古生代、中生代沉积盆地的存在。

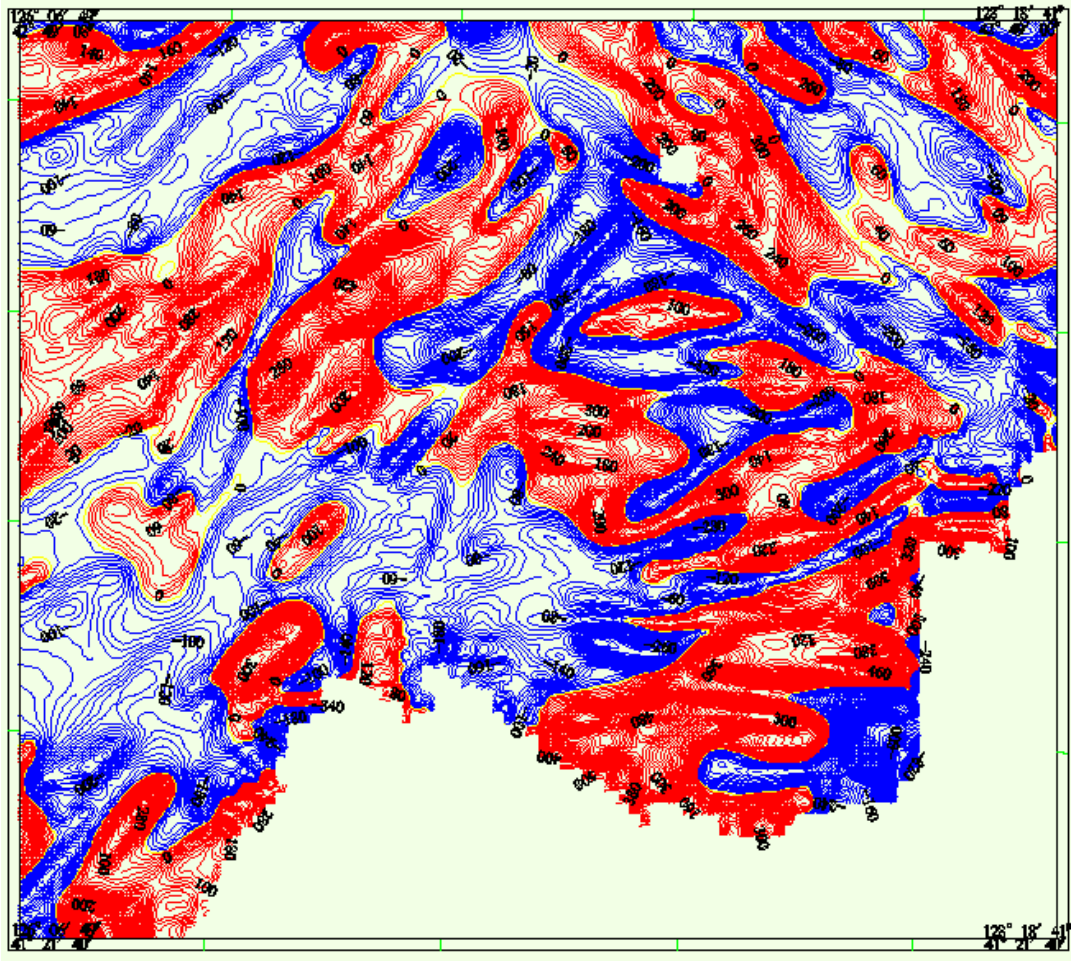


图 3.4　白山地区航磁平面等值线图

3.3　区域地球化学特征

区域地球化学背景是指一个地区的地质体或天然产物中元素含量呈正常分布，或地球化学性质正常的情况，而地球化学异常是指地质体或天然产物中，某些元素的含量明显地偏离正常分布，或其它地球化学性质明显地发生变化的现象[50]。地球化学背景与地球化学异常只是相对而已，有的区域的地球化学异常，在矿区可能属于地球化学背景。矿区的地球化学背景，对区域来说也可能属于地球化学异常。

3.3.1　元素地球化学参数特征

一、元素的相关特征

衡量事物之间，或称变量之间线性相关程度的强弱并用适当的统计指标表示出来，这个过程就是相关分析[51]。相关分析的方法较多，比较直接和常用的是绘制散

点图。图形虽然能够直观展现变量之间的相关关系，但不很精确。为了能够更加准确地描述变量之间的线性相关程度，可以通过计算相关系数来进行相关分析。相关系数是描述变量之间相关程度的数字指标，其值介于（-1，+1）之间。若 0<r≤l，表明变量之间存在正相关关系，即两个变量的相随变动方向相同。若-1≤r<0，表明变量之间存在负相关关系，即两个变量的相随变动方向相反。当|r|=1 时，其中一个变量的取值完全取决于另一个变量，二者即为函数关系；若 r=+1，表明变量之间完全正相关；若 r=-1，表明变量之间完全负相关。当 r=0 时，说明变量之间不存在线性相关关系，但并不排除变量之间存在其他非线性关系的可能。

对白山地区 Ag 、As、Au、Co、Cu、Mn、Mo、Pb、Sb、Sn、W、Zn 元素两两之间分别进行了相关分析，发现 Au 与 As 元素有稍明显的正相关关系，而与其它元素均无明显相关关系。Zn 与 Pb 有明显的正相关关系，相关系数达 0.72。Sn 元素相对独立，与其它元素的相关性不好。

二、地球化学参数特征

本区微量元素均符合正态分布，本次研究采用算术均值、标准差、变异系数进行统计分析。变异系数（CV）是一个无量纲的地球化学参数，是衡量原始数据平均含量分布的相对离散程度的量，且不受原始数据、含量单位、分布形式的局限，有利于不同元素之间的对比，为了便于不同元素之间的对比，将变化系数≤1 的元素划分为相对均匀类元素，将变化系数为 1＜CV≤3 为弱离散类元素，将变化系数＞3 的元素划分为强离散类元素。

通过对本区 Ag 、As、Au、Co、Cu、Mn、Mo、Pb、Sb、Sn、W、Ni、Zn 元素原始数据求变异系数，得到该区元素相对离散程度组合为：均匀类元素为 Ag 、As、Co、Cu、Mn、Pb、Sb、W、Ni、Zn，弱离散类元素为 Au、Mo、Sn，未有强离散类元素。各元素变异系数见表 3.3。

本区主成矿元素 Au 变异系数为 1.40，属于弱离散类元素，除了与区内火山热液活动有关外，还与区内原生地球化学背景的地域性差异有着内在的联系。元素含量变化幅度很大，如 Cu 元素含量值最高可达到 1489×10^{-6}，最低为 0.5×10^{-6}；Zn 最高为 3708×10^{-6}，最低可为 24.4×10^{-6}；Au 最高 59.6×10^{-9}，最低为 0.1×10^{-9}。元素含量幅度变化大，一方面除了元素的地球化学行为影响及水系流经地域的汇水盆地内原生地球化学背景影响外，其主要影响因素为区域内成矿带、成矿区地球化学高背

景影响。

表 3.3　白山地区部分微量元素均值、标准差及变异系数

元素	均值	标准差	变异系数(×100%)
Ag	126.39	11.24	0.09
As	8.34	7.23	0.87
Au	1.42	1.98	1.40
Co	15.14	8.12	0.54
Cu	21.99	21.28	0.97
Mn	1010.22	330.60	0.33
Mo	1.28	2.47	1.93
Pb	22.15	16.92	0.76
Sb	0.47	0.30	0.64
Sn	3.92	5.9	1.51
W	1.65	1.13	0.69
Ni	31.546	16.59	0.53
Zn	95.43	70.04	0.73

注：表中除 Au 单位为 10^{-9}，其余为 10^{-6}。

3.3.2　元素地球化学场特征

充分应用白山地区 1∶20 万水系沉积物地球化学数据，利用克里格、泛克里格及 SPSS 方法对数据进行处理，在 MapGis 平台上，经计算机处理出图，可以得到 Au、Cu、Pb、Zn、Co、Ni 各个元素的地球化学背景图 (图 3.5—图 3.10)。

1、Au 元素地球化学场

以 Au 的地球化学背景图为依据，根据变化趋势，可以将研究区分成 4 个高背景区和一个低背景区。

（1）石人镇—花山镇—十二道沟乡高背景区，该场以 1.5ppb 为边界，呈北西向和近东西向分布，场内 Au 含量西高东低。根据迭加特点可进一步分为弱迭加区和强迭加区。

强迭加区出现在临江市的三道岔、错草沟和四道河子一带，以变化性大，异常规模大、强度高，集中分布为特征。此场区内地质背景复杂，地层以元古界老岭群为主，古生界仅出现在场区的西部边缘地带，北东、北西、近东西、近南北断裂构造发育，成带出现。

弱迭加场区出现在东南，即六道沟—十二道沟乡一带，以变异小、异常凌乱、规模小、强度低为特征。弱迭加场内分布着燕山早期的黑云母花岗岩和花岗斑岩，中生界侏罗系地层以及新生代的玄武岩地层。

（2）靖宇县那儿轰镇—榆树镇高背景区，呈北西向分布。场内变异小、异常凌乱且强度低。该场区内自西向东分布着鞍山群的杨家店组和四道砬子河组，以及燕山早期的流纹斑岩和石英斑岩。

（3）长白县东北岔乡—东小山高背景区，呈北西向展布。场内以变化性小，强度高，集中分布为特征。该场区内主要分布着新生代玄武岩地层。

（4）抚松县泉阳岛—胜利林场高背景区，该场呈近东西向展布，场内异常面积小，浓集中心明显，基本与区域内的断裂走向一致。场区内主要分布着新生代玄武岩地层。

（5）低背景区主要分布在长白，靖宇、抚松西南，分布范围大。该场以北西向为主，局部有近东西向展布。地层以中生界侏罗系地层以及新生代的玄武岩地层为主。

2、Co 和 Ni 地球化学场：Co、Ni 元素化学场的分区和场区特征相似

（1）元素高背景区：主要分为 3 部分，临江市与长白县相邻一带，场面积较大，元素背景含量较高，呈东西向展布，局部出现北西向，与区域内基底展布方向一致，场内主要分布着新生代的玄武岩地层；靖宇县西部与通化市相临一带区，背景场面积较大，背景场走向大致可以分为 NW 和 NE 向，基本与区域内断裂走向一致；扶松县的松江乡一带，背景场面积相对较小。

（2）元素低背景区分布范围较大，主要分布在白山市境内和白山地区的东部。

3、Cu 元素地球化学场

（1）元素高背景场在研究区内分布范围不大，主要分布在临江市的花山镇—三道岔以及六道沟一带，场区面积不大，呈北东向展布；另一主要高背景场分布在靖宇县那儿轰镇—赤松乡一带，走向为北东向。

（2）元素低背景区以大面积呈现在研究区的东部，走向以北西向为主，局部有近南北向。地层以新生代的玄武岩地层为主。

4、Pb 元素地球化学场

（1）元素高背景场主要分布在临江市的大栗子镇—六道沟一带，背景场面积较

大，元素背景含量较高，呈北西向展布。另一高背景场分布在抚松县的仙人桥镇和泉阳泉一带，元素背景含量不是很高，呈北西向展布。

（2）元素低背景场以连续大面积形态分布在研究区内，走向以北西和近东西向为主。

5、Zn 元素地球化学场

（1）Zn 元素主要以大面积的低背景场形态分布在研究区内。含量在带内变化不大，比较稳定。走向以北西向为主。

（2）Zn 元素高背景场主要分布在长白林区覆盖的地方，元素背景含量不是很高，呈北西向展布。在临江市的苇沙河镇、珍珠门和靖宇县的赤松乡出现高背景块，其最高值达 1170×10^{-6}。

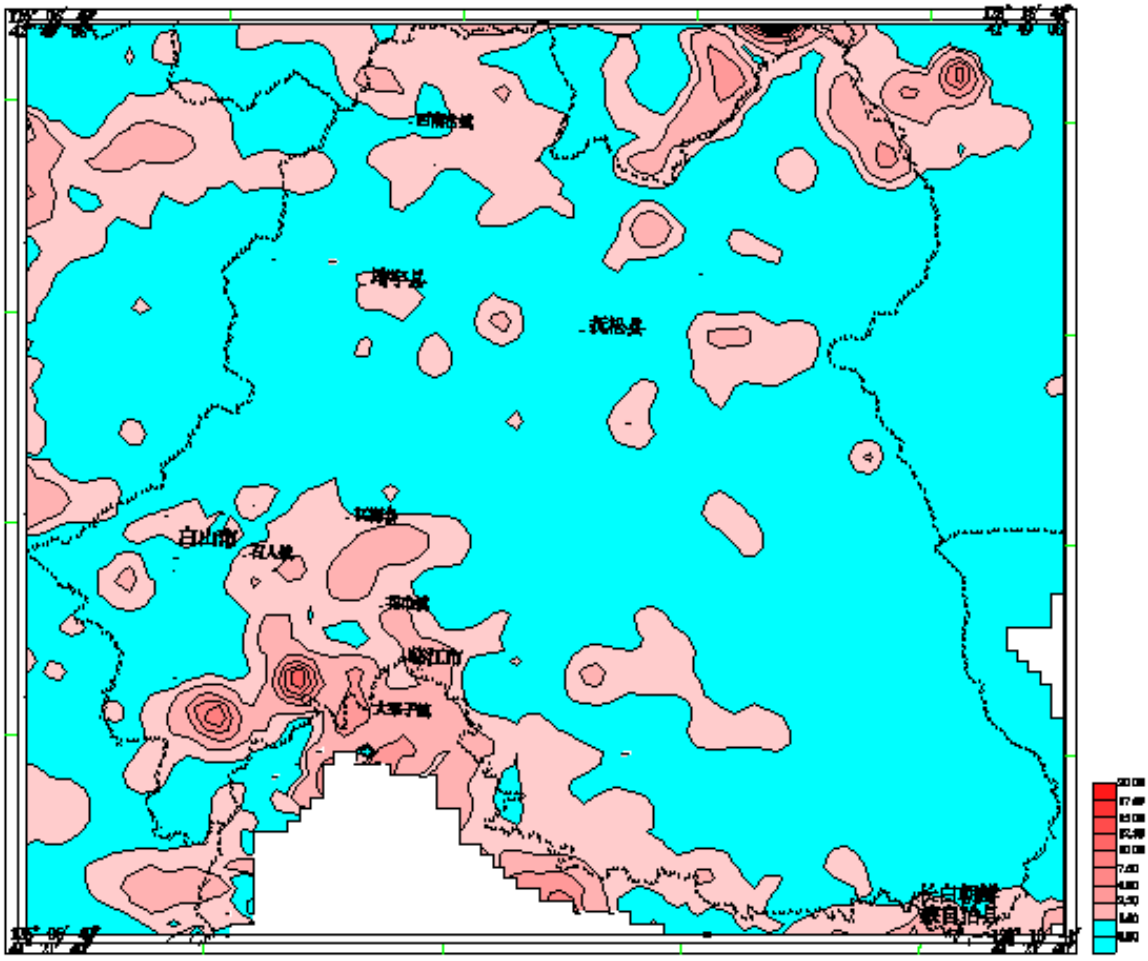


图 3.5 白山地区 Au 元素地球化学背景图

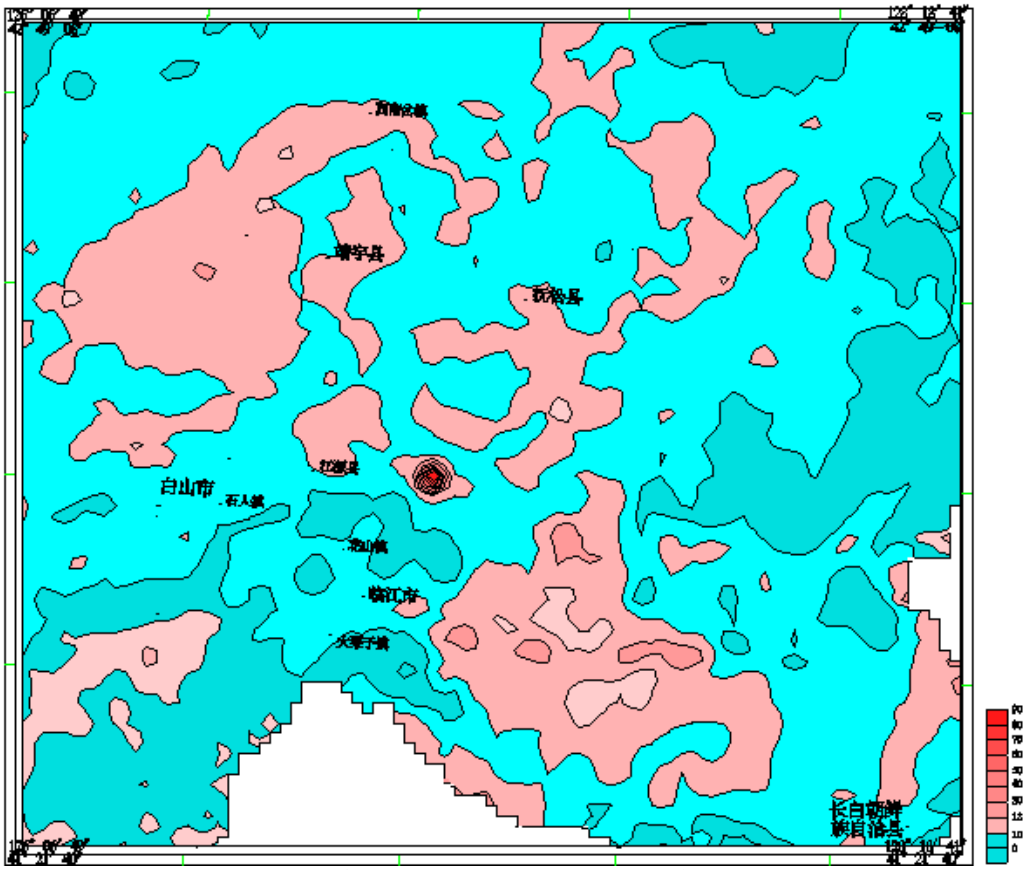


图 3.6　白山地区 Co 元素地球化学背景图

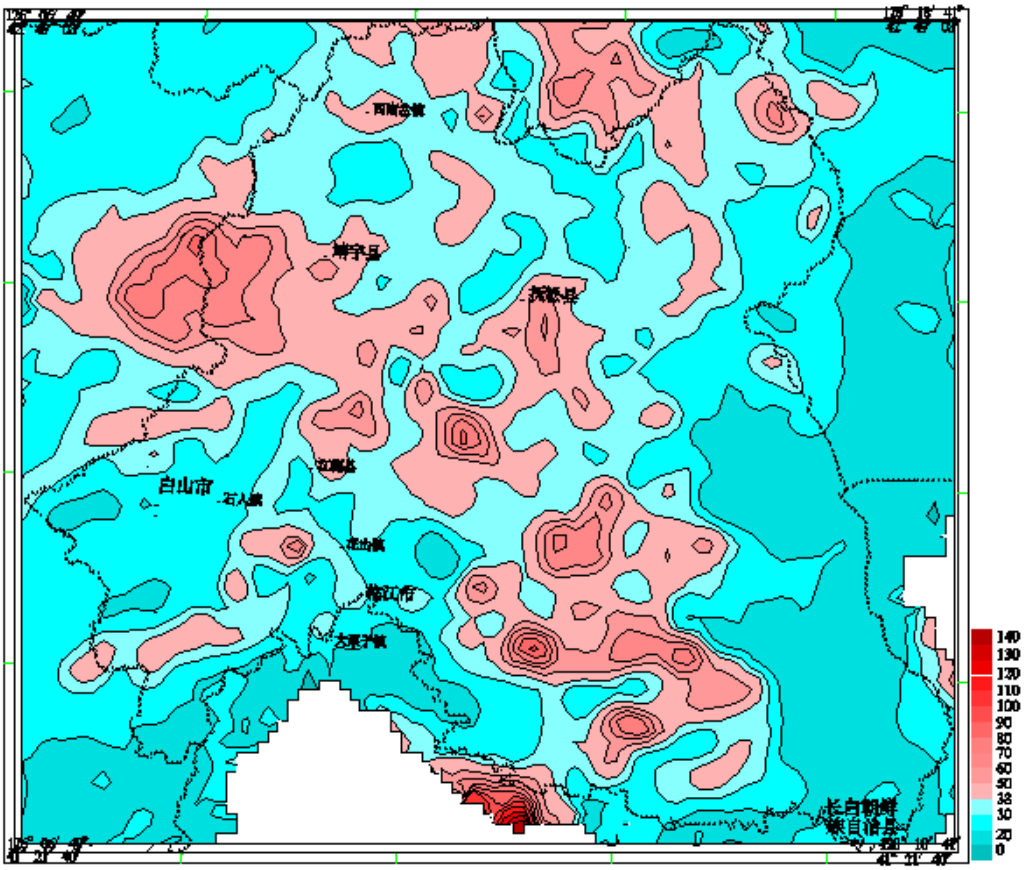


图 3.7　白山地区 Ni 元素地球化学背景图

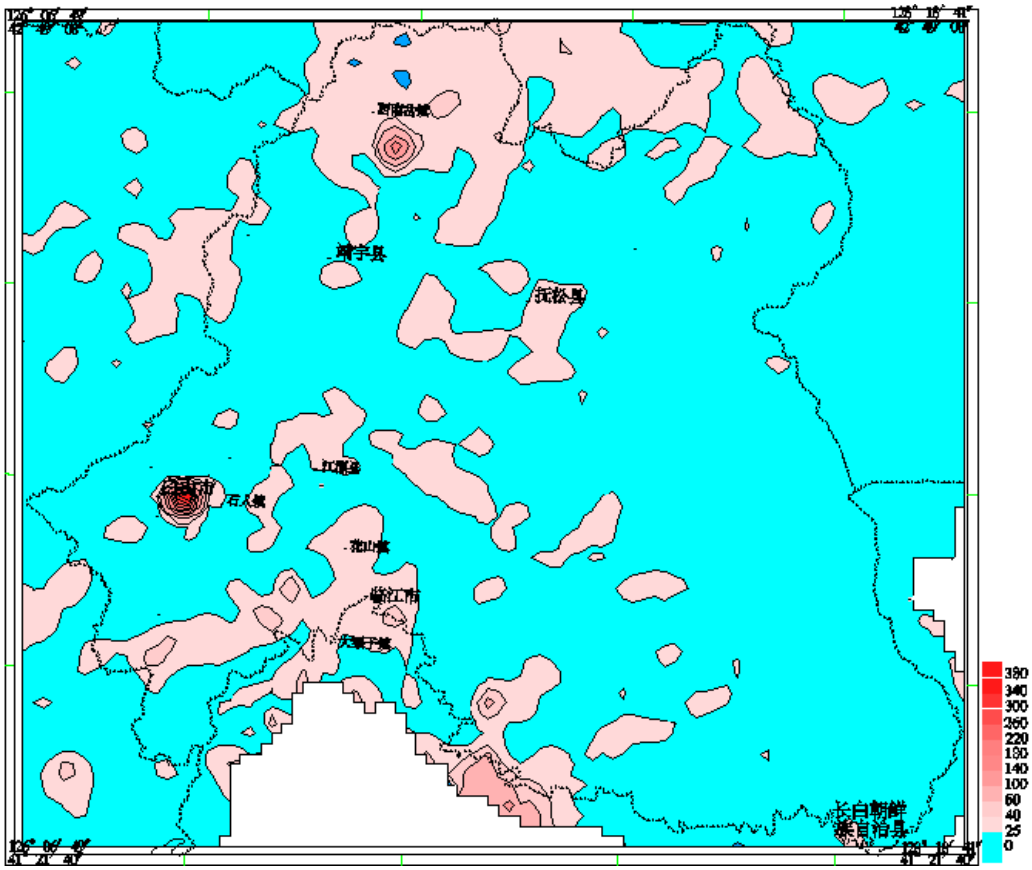


图 3.8　白山地区 Cu 元素地球化学背景图

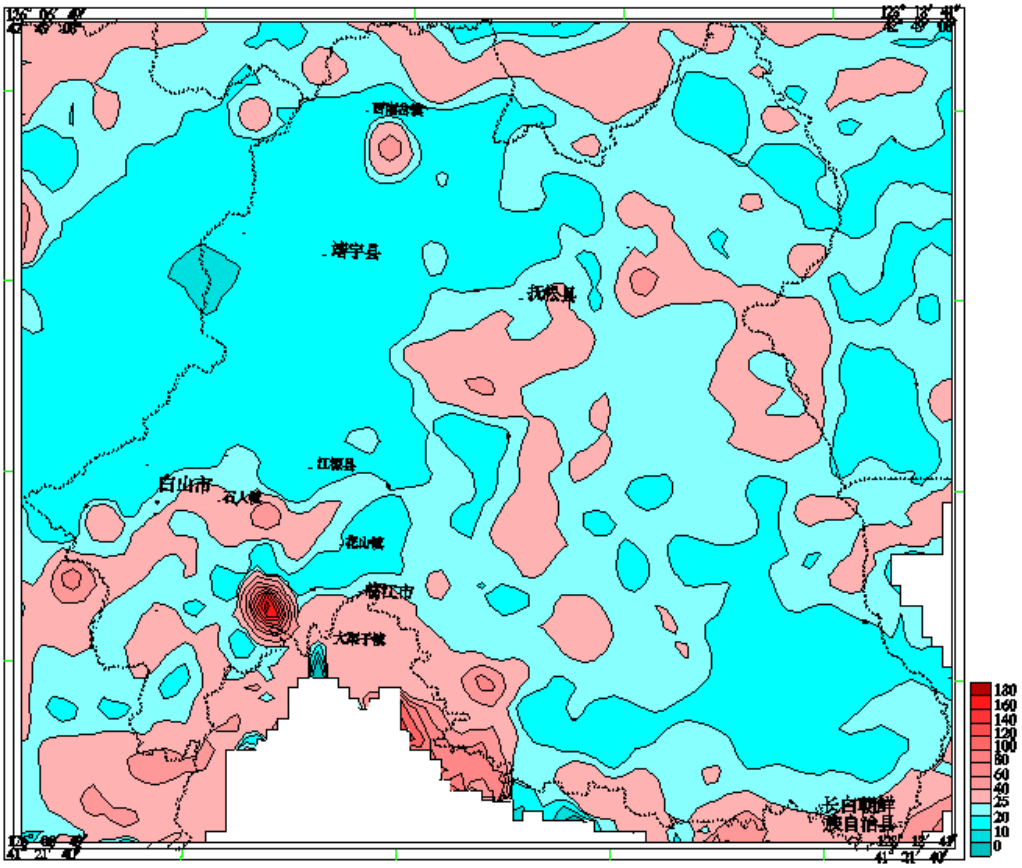


图 3.9　白山地区 Pb 元素地球化学背景图

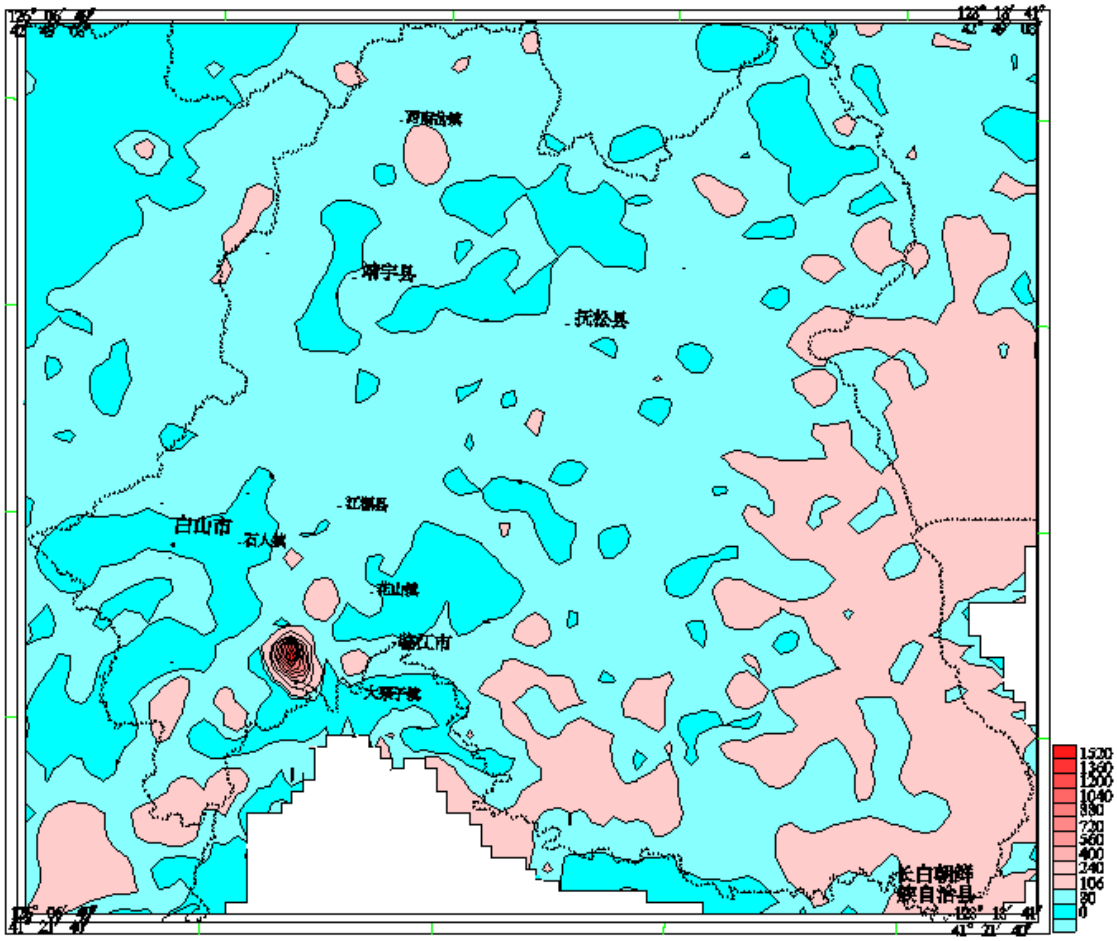


图 3.10　白山地区 Zn 元素地球化学背景图

第 4 章　物化探信息解译

4.1　物探信息解译

4.1.1　地球物理信息解译方法[29, 30]

地球物理信息的综合解译，重点是对重、航磁信息进行解译。从统计观点分析航磁图和重力图分别是不同性质、不同时代、不同等级、不同深度磁性体、密度体集合的叠加场，数据处理的目的是对它们的分解，研究不同磁性体、密度体三维空间关系。因为它们是对天然磁场和重力场测量的结果，重、磁信息覆盖全省，有普遍意义。地质图和矿产图均是二维的平面图，只有通过以地质体、矿产资源体为单元的重、航磁综合信息解译，方能达到三维化认识地质体和矿产资源体的目的。

一、航磁信息的解译

磁场可分为区域场和局部场，它的分区依据是异常的某些形态特征，如异常的强度、等级、性质、范围大小、异常形态、延伸长度、变化梯度、异常走向及异常轴向的变化趋势等特征。首先，纵观全区磁场的总体特征，由整体到局部，逐级划分并圈定出不同性质、不同等级的场和异常的边界，一般按正、负、正负跳跃场三大类型划分。然后进一步区别低缓场、陡变场和叠加场。

变质岩系包括正变质岩系和负变质岩系。正变质岩系是指火山喷发的、磁场有变化的，而负变质岩系一般是正常沉积岩层反映为无磁性的负场。磁场变化是变质岩石物质成分变化的物理场反映，故可根据变质岩系磁场特征研究变质岩的层理展布趋势。一般地，垂直磁场轴向方向代表物质成分变化最大的方向，而平行磁场轴向的方向是物质成分变化最小的方向即变质岩系层理展布趋势或方向。

侵入岩体的磁场可划分为两种类型。一类是花岗岩体与围岩之间没有明显磁场差异，但岩体和围岩的磁场存在着一定的密度差。具有这一磁场特征的花岗岩体一般侵入在出露基底和隐伏基底的分布区，其磁场变化与围岩（变质岩系）具有明显的磁场继承性，这些花岗岩体被称为继承性岩体。这类岩体的规模一般较大，岩体多数沿变质岩系层理展布趋势或方向侵入，多呈近东西方向。岩石类型比较复杂，交代作用和热变质作用十分明显。

另一类是花岗岩体的磁场变化随着岩石基性程度的增强，磁场有规律变强，如闪长岩为强正场、花岗岩闪长岩为稍强正场，花岗岩为弱正场、白岗质花岗岩为负场。具有这种随岩石基性程度递增，磁场强度发生明显正相关变化的花岗质岩体被称为非继承性岩体。

航磁的数据处理只能对感磁引起的磁场进行处理和解译，而对剩余磁性引起的磁异常只能在感磁解译基础上，进行判别性的解译。

地球是感磁体，地质体的集合也是一个感磁体。感磁必然形成斜磁化场。斜磁化场的梯度一般较大，具体表现是局部异常北部（北东、北西）为负异常，南部（南东、南西）为正异常，正、负异常之间梯度较大。当局部异常走向为北东向，北西一侧为负异常，南东一侧为正异常。当局部异常为北西走向时，北东一侧为负异常，南西一侧为正异常。化极后表现为正异常或正缓异常。

当地质体以剩余磁性为主时，形成的反磁化场一般与感磁异常特征相反，正、负相伴随的磁异常正异常出现在北侧（北、北西、北东），而负异常出现在南侧（南、南东、南西）。化极以后，为负强异常。化极和原平面对比，经常出现剩磁方向和感磁方向不一致的磁体。这一特点是识别地质体的重要磁场标志。

位场向上延拓（换算）的意义是由观测平面上的磁测场（重力场）计算出比观测面高的各个平面上的场值；向上延拓的目的，是消除局部干扰或浅部干扰，突出区域性异常或深部地质体异常。为了推断地质体的形态及产状，

通常作四个高度的向上延拓，用以判别不同延深的地质体。

a.不同延拓高度垂向二阶导数的解译

对不同向上延拓高度垂向二阶导数的零值线进行提取，并绘制到相应延拓高度平面图上，然后，对不同上延高度平面图所圈定磁性体的磁场和密度体的重力场，进行上、下关联对比，筛选出不同延深的磁性体或密度体。

对不同上延高度垂向二阶导数零值线提取的一个原则是相对最大深度的导数零值线圈定磁性体或密度体边界，而另一个原则是选择最大二阶导数零值线圈定磁性体或密度体边界。这两条原则紧密结合应用，可以实现筛选磁性体（或密度体）延深以及它们形态产状推断的目的。

b.不同延拓高度平面的水平一阶导数解译

水平一阶导数极大值和极小值的轴线是相互匹配的，极大值轴线和极小值轴线

所圈定的范围代表磁性体（或密度体）的梯度带。由于异常场均有等级性，故导数也有相对应的等级性。因此，绘制导数必须找出它们最大的延长范围，而不要人为缩短，破坏了它们的等级性。

水平一阶导数图在每个向上延拓平面上，均按四个方向求导,即 0°、45°、90°、135°，每个求导方向均求出垂直求导方向的导数和两个斜交求导方向的导数，这一点是电算方法求水平一阶导数的特点。

对同一个上延高度的四个方向求导，必然出现 12 个水平一阶导数，故需要提取和筛选，其方法是对同一上延高度的不同方向水平一阶导数极值进行叠置，在两个以上方向上极值线重叠位置，提取垂直求导方向的水平一阶导数，并称这种水平一阶导数为有效导数。水平一阶有效导数同垂向二阶导数是密切关联的，一般同垂向二阶导数的趋势方向吻合。

航磁解译的具体工作流程如图 4.1 所示。

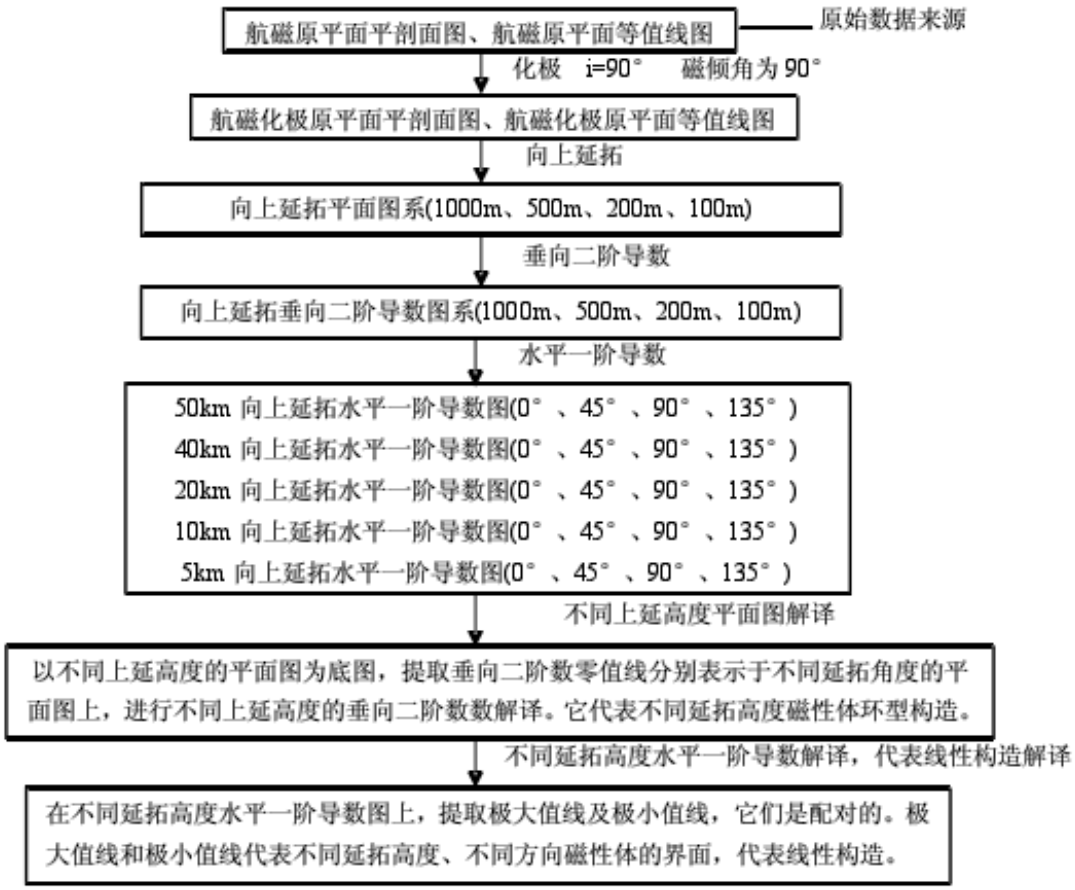


图 4.1　航磁解译工作流程图

c.对不同高度的延拓图进行关联

首先对不同上延高度垂向二阶导数零值线所圈定的磁性体（或密度体）的场进行对比分析；其次研究不同上延高度、不同方向的水平一阶导数的上、下关联，水平一阶导数是研究不同类型磁性体（或密度体）的结合面。

表 4.1　航磁解译图表

0°、45°、90°、135°四个方向水平一阶导数，共计 12 个导数，4 个有效导数，8 个斜交导数。提取 4 个有效导数，绘制于不同上延高度的平面图上，实现不同上延高度的环型和线性的构造解译。

不同延拓高度环线构造的上下关联解译

不同上延高度平面图构造相对深度	0-100m	100-200m	200-500m	500-1000m	1000m
原平面图	1	1	1	1	1
向上延拓 100m 平面图	0	1	1	1	1
向上延拓 200m 平面图	0	0	1	1	1
向上延拓 500m 平面图	0	0	0	1	1
向上延拓 1000m 平面图	0	0	0	0	1

从 4.1 表中可以看出，上延高度最大的平面构造最简单，而原平面的构造深度最为复杂。故应先在最大延拓高度的平面图上，进行构造解译，提取出最大深度的环型、线型构造，逐步筛选出不同高度的构造，应用这种方法可区别不同上延高度的环型和线型构造，形成综合解译的航磁环、线构造格架图。

4.1.2　航磁解译构造及其控矿特征

对白山地区航磁原平面场进行不同高度的向上延拓，消除局部干扰或浅部干扰，突出深部区域性异常或深部地质体异常。为了推断地质体的形态及产状，本次工作做四个高度（20km、10km、5km、2.5km）的向上延拓，水平一阶导数图在每个延拓平面上，均按四个方向（0°、45°、90°、135°）求导，用以判别不同延深的地质体。通过对白山地区航磁的数据处理，可以得到研究区最终的航磁线性、环性构造图（图 4.2，4.3）。

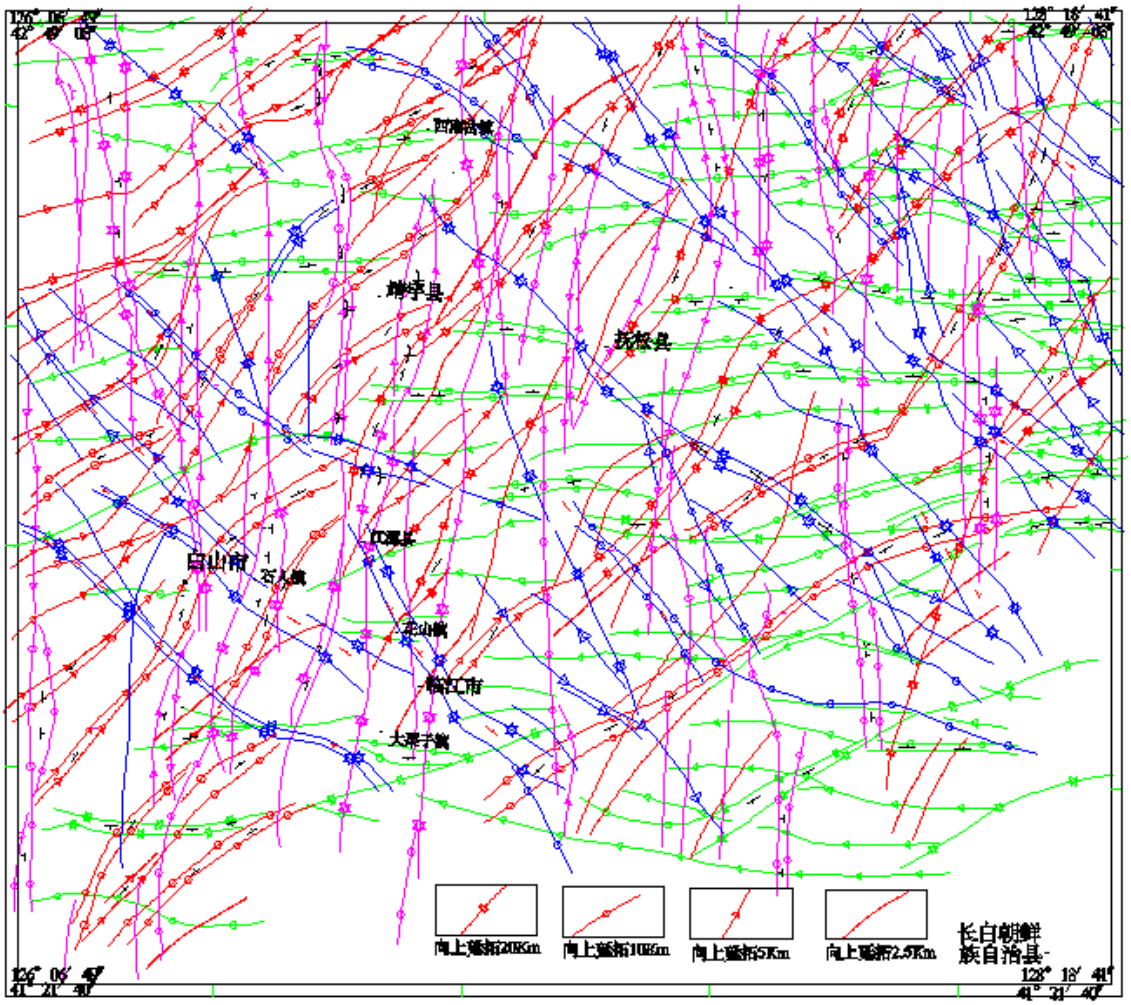


图 4.2　白山地区航磁线性构造解译图

一般地，控制磁异常的构造是早于磁异常的构造，而破坏磁异常的构造是晚于磁异常的构造。只有在磁场地质解译的先验前提下，根据磁异常的相互切割和控制关系，才能建立不同大地构造单元演化的特点。预测区的构造特点是，控制区域地质体分布的构造为北西向，北西向为主要的控矿和容矿构造。

早东西向构造、早南北向构造、早北东向构造和早南北向构造被确定为正序构造。晚东西向构造、晚南北向构造、晚北东向构造和晚北西向构造均属于反序构造，反序构造的特点是重、磁梯度带长，并切割早期重、磁梯度带和环形异常（带）。

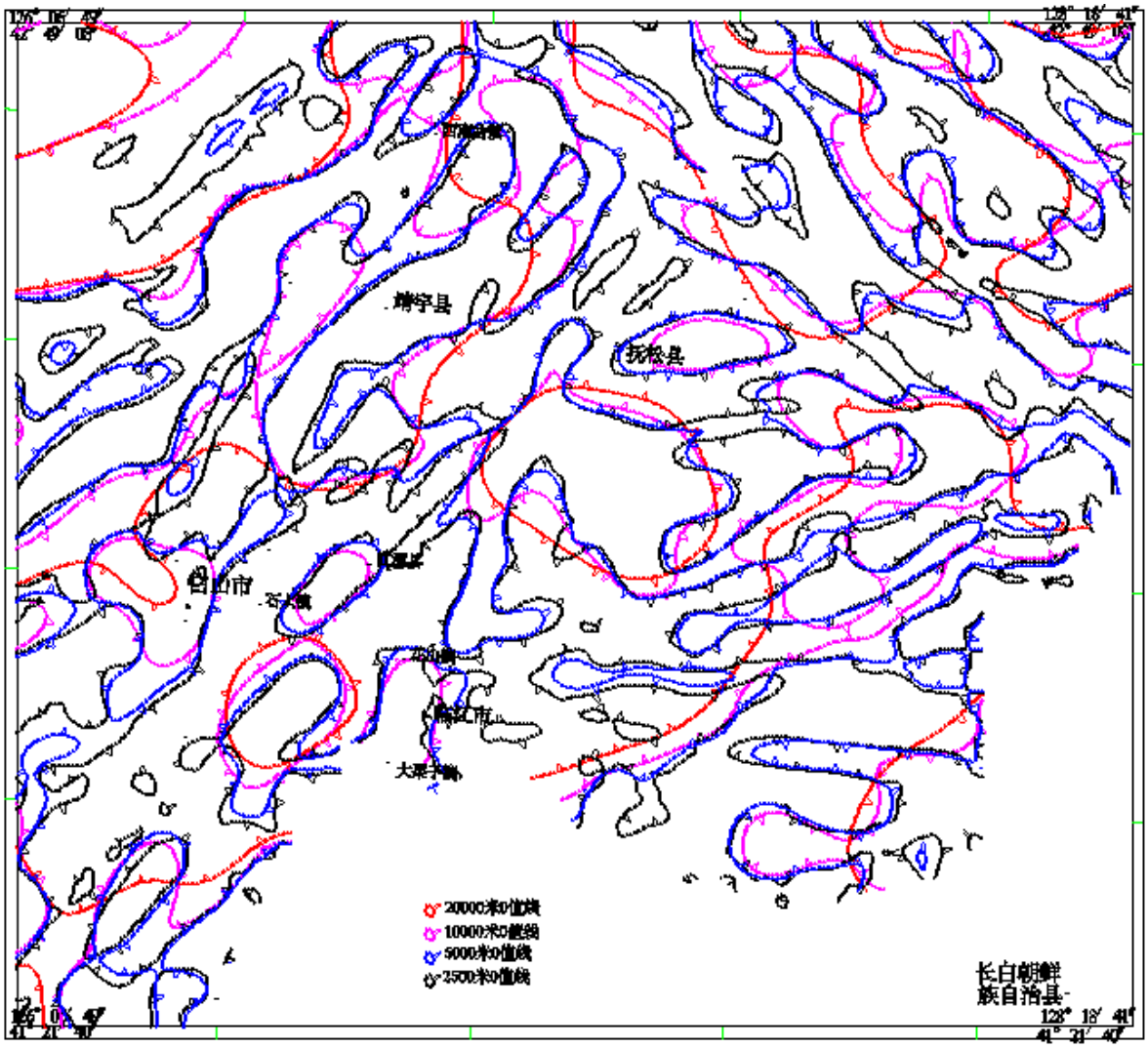


图 4.3　白山地区航磁环性构造解译图

4.2　化探信息解译

地球化学信息是最直接的找矿信息，能揭示所研究地区的地球化学特征[52-54]，如元素的分布分配规律，主成矿元素及伴生元素，元素的地球化学场、异常等。因此，这方面资料的解释也就成为矿产资源预测与评价的一项重要研究任务。

4.2.1　单元素地球化学异常

充分应用白山地区 1：20 万水系沉积物地球化学数据，利用克里格、泛克里格

及 SPSS 方法对数据进行处理，在 MapGis 平台上，经计算机处理出图，可以得到 Au、Cu、Pb、Zn、Co、Ni 各个元素的地球化学剩余异常图（图 4.4—图 4.9）。本次地球化学特征的研究重点是 Au 的地球化场和异常，目的在于查明 Au 在研究区范围内的变化趋势以及异常特征。通过研究对比研究，可以得出：

1、全区共圈出金异常 47 个，异常在区内成群、成带分布。圈定的金异常与已知矿点套合较好。异常可以划分为白山板石镇—临江六道沟镇异常带和靖宇那儿轰镇—抚松胜利农场异常带。简称西南异常带和北东异常带。西南异常带，异常走向北西，带内分布有 25 个异常区，其中临江市附近的石人镇、苇沙河镇和四方顶子镇，金异常密集，异常规模和强度大，浓集中心明显。北东异常带，异常走向也为北西向，带内分布 11 个异常区，在靖宇那儿轰地区金异常密集，异常规模和强度大。Au 异常分布于基底边缘，岩体接触带部位，从 Au 异常的展布形态可以看出 NW 向构造控制金矿。

2、在靖宇县的北沟、农场屯、天合兴这三个地区 Au、Co、Ni 元素异常具有高值叠加效果。Au 异常形态以椭圆状和不规则状为主，规模相差较大，单点异常较多；异常强度大，浓集中心明显；异常呈带分布，为北西向和北东向。Co 异常以近东西向为主，并且在玄武岩覆盖的长白一带，异常强度大，浓集中心明显。Ni 异常以近东西向和北东向为主。套合这三种元素异常发现，Co、Ni 元素异常吻合性要优于 Au、Co 和 Au、Ni。Co、Ni 在成矿过程中具有相同的成因，而 Au 可能为不同的成矿期或成矿阶段。

3、白山地区的苇沙河镇、大栗子镇以及六道沟镇 Cu、Pb、Zn 元素具有高值叠加效果。三种元素异常展布形态不规则，NW、NE、NS 向均有。套合三种元素发现，Cu 异常主要在岩体中心，为内带，Pb、Zn 异常主要分布在岩体的边缘，尤其是岩体尖端，为外带。

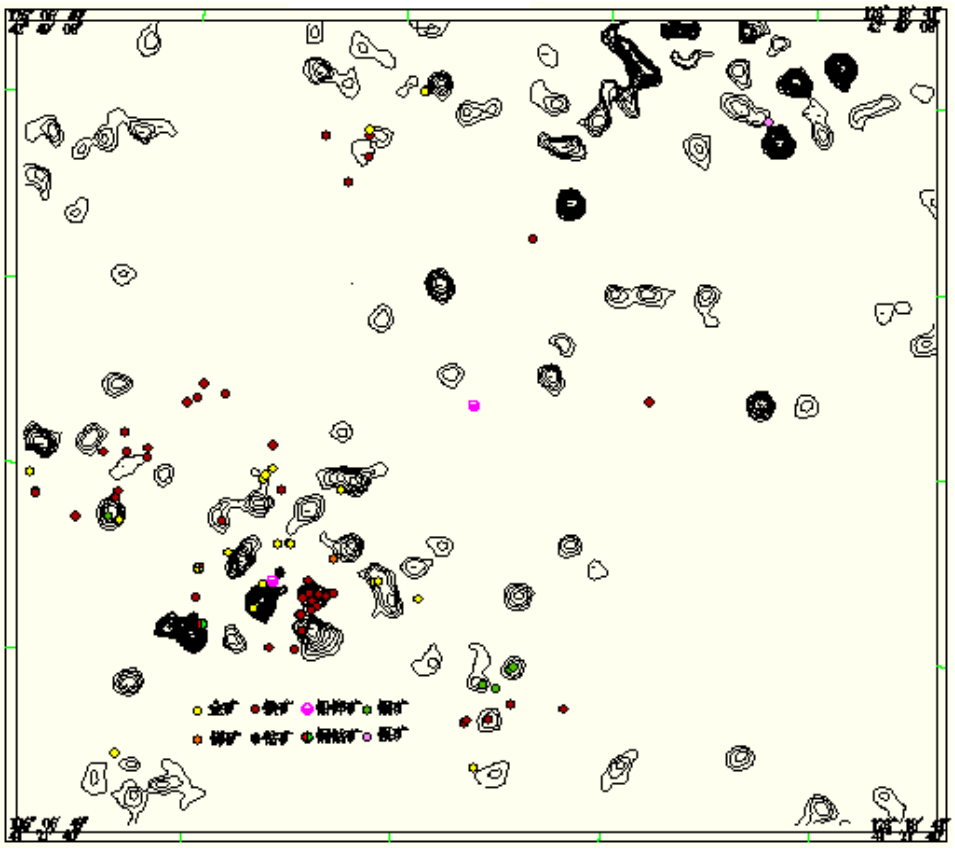


图 4.4　白山地区 Au 元素剩余异常等值线及已知矿床分布图

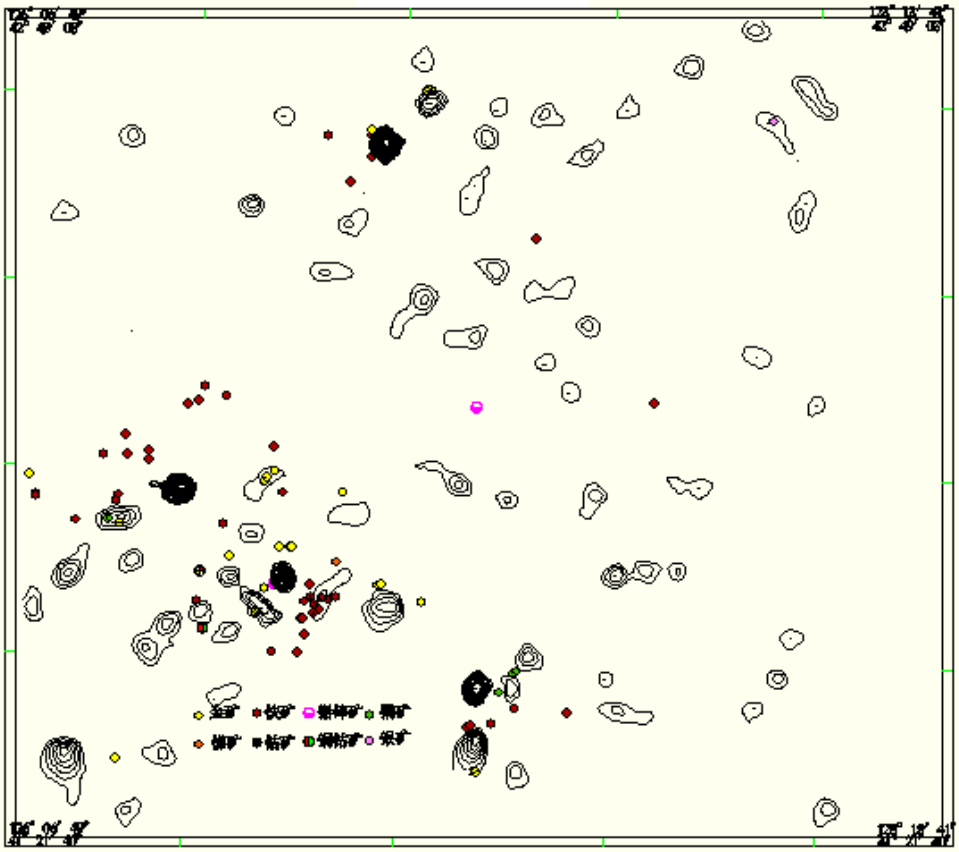


图 4.5　白山地区 Cu 元素剩余异常等值线及已知矿床分布图

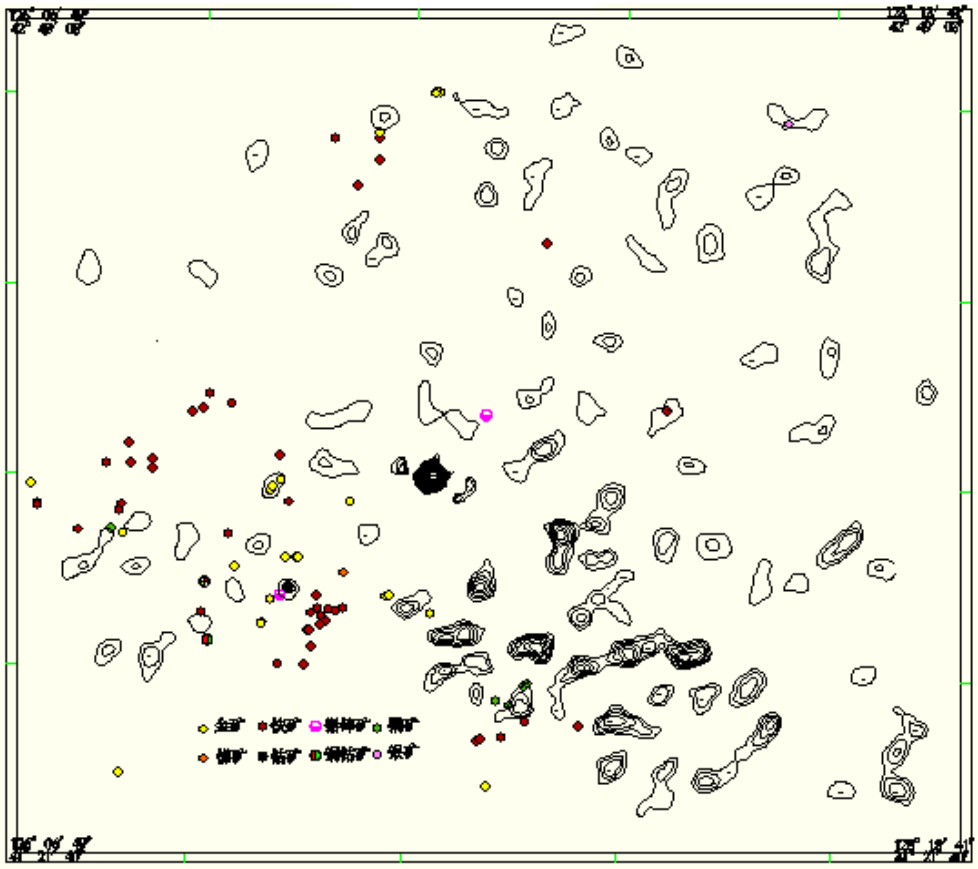


图 4.6　白山地区 Co 元素剩余异常等值线及已知矿床分布图

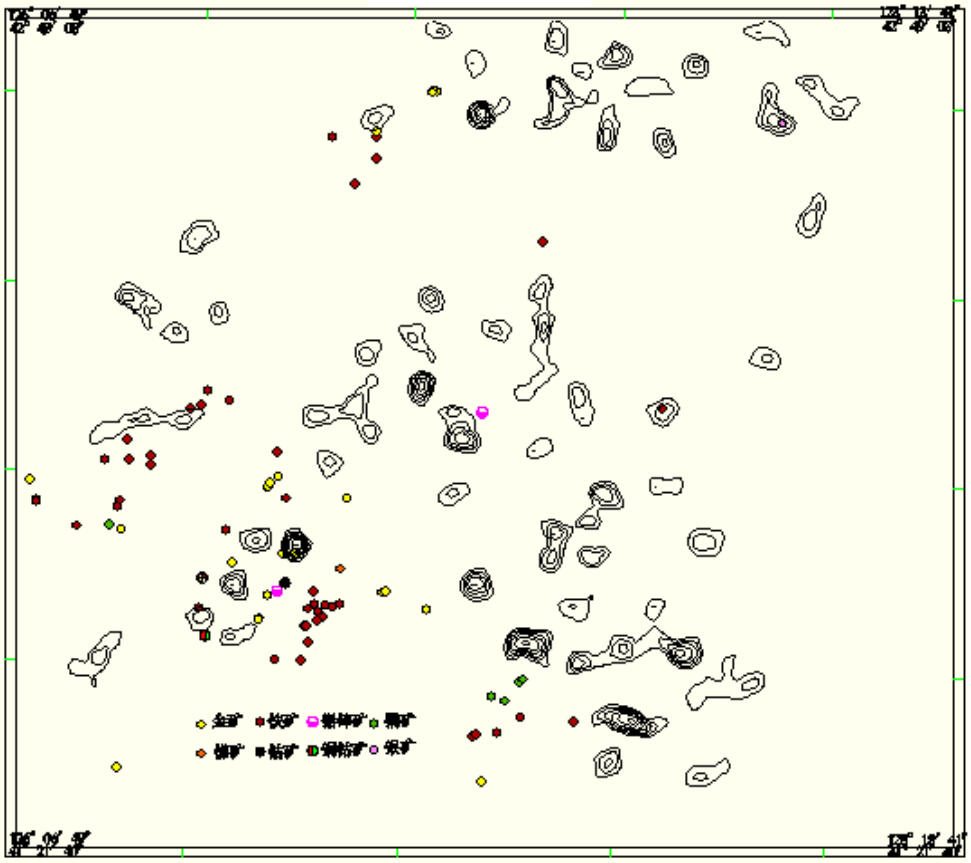


图 4.7　白山地区 Ni 元素剩余异常等值线及已知矿床分布图

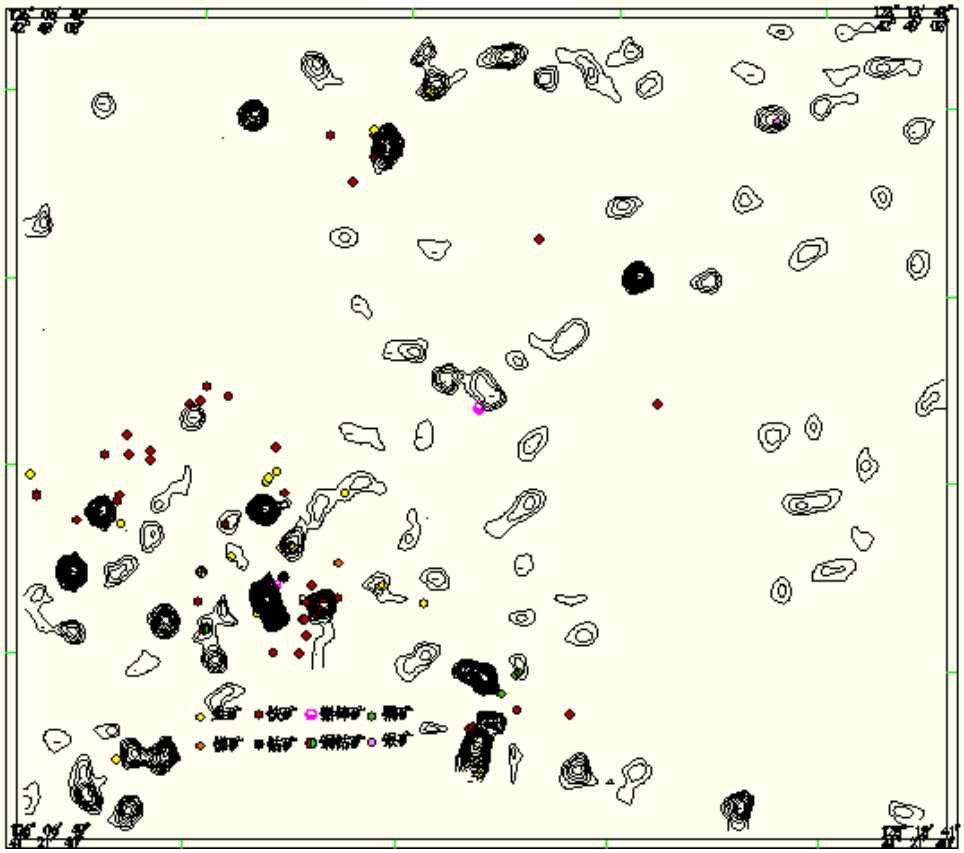


图 4.8　白山地区 Pb 元素剩余异常等值线及已知矿床分布图

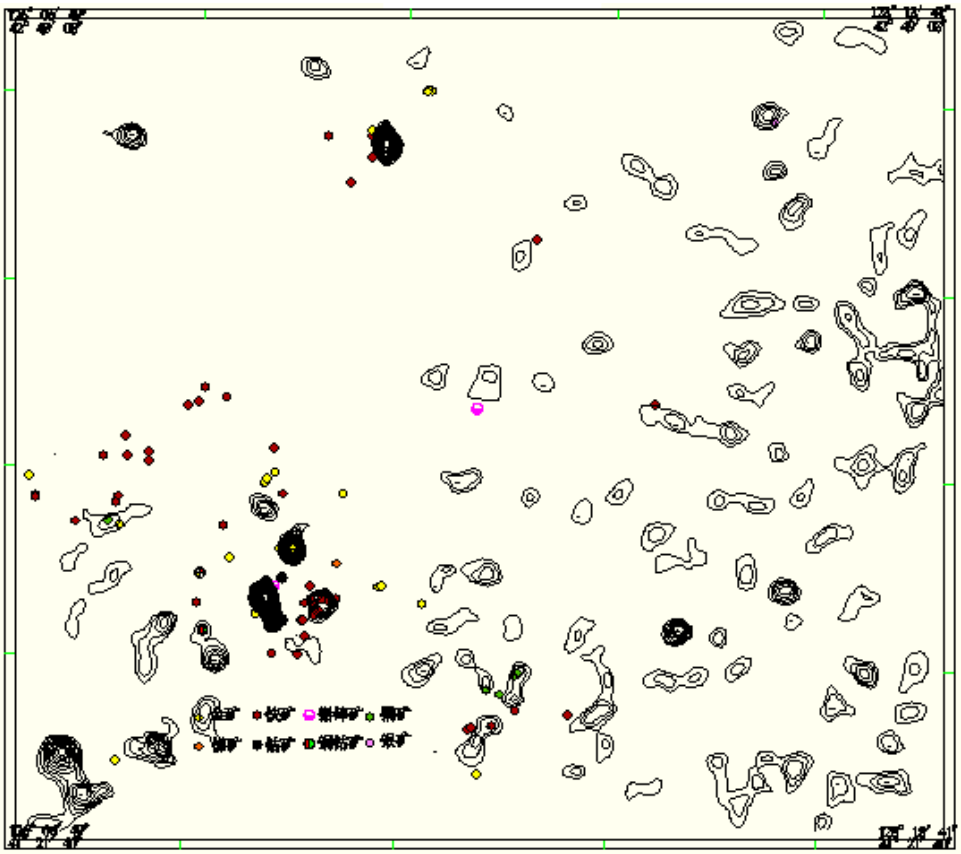


图 4.9　白山地区 Zn 元素剩余异常等值线及已知矿床分布图

4.2.2 元素空间定量组合求异模型

本文采用因子—泛克里格模型对测区化探数据进行空间定量组合求异。因子分析方法具有压缩变量空间，再现原始变量内部相关关系的功能，利用因子取自原始变量线性组合及旋转变换这一处理技巧，可将化探数据矩阵中多元素变量集综合成少数具有特定含矿指示意义的元素定量组合指标，利用这些指标重新构造空间数据矩阵，作为求异基础，这些新的数据是统计量，仍具有空间结构性和相关性，在非平稳假设下，应用泛克立格法可求出漂移与剩余，从而确定异常。

空间求异是一个极富价值的理论与实用性问题，求异过程应遵循原则是：空间数据相关性、空间数据结构性、 空间目标受控条件多元性。本文依据上述三原则，对研究区水系沉积物地球化学测量数据建模求异常。

一、因子—泛克里格模型

在建模过程中综合借鉴因子分析与泛克里格法的原理，构造主因素泛克里格模型如下：

设在某区域获取平网格数据：

$X=(x_{ij})_{n\times m}$　　n 为样品数，m 为地球化学元素变量数

$=(x_1,x_2,\cdots,x_m)$

按因子分析原始模型

$$x_j=\sum_{k=1}^{p}a_{kj}f_k+u_j\varepsilon_j \qquad j=1,2,\cdots,m$$

进一步求其旋转变换解（方差极大旋转或四次幂极小旋转）：

$$B=\begin{array}{c} \\ f_1 \\ f_2 \\ \cdots \\ f_p \end{array}\begin{array}{c} \begin{array}{cccc} x_1 & x_2 & \cdots & x_m \end{array} \\ \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & \cdots & b_{1m} \\ b_{21} & b_{22} & \cdots & b_{2m} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ b_{p1} & b_{p2} & \cdots & b_{pm} \end{bmatrix}_{p\times m} \end{array}$$

令　　$F=(f_1,f_2,\cdots,f_p)$

则　　$F=XR^{-1}B$　　（R^{-1} 为 X 之相关阵逆阵）

即　　$F=(f_{kj})_{n\times p}$　　F 为因子计量阵

然后对原始网格数据 X 重新构造，目的在于对变量进行线性组合，即构造所谓主成份，有：

$$\sum_{j=1}^{m} x_{ij} b_{kj} = x_{ik}^{(1)} \quad 或 \quad XB^T = X^{(1)}$$

将 $X^{(1)}$ 中的元素 $x_{ik}^{(1)}$ 乘以相应因子计量，得：

$$X^* = \begin{Bmatrix} \sum_{j=1}^{m} x_{1j}^{(1)} b_{1j} f_{11} & \cdots & \sum_{j=1}^{m} x_{1j}^{(1)} b_{pj} f_{1p} \\ \cdots & \cdots & \cdots \\ \sum_{j=1}^{m} x_{nj}^{(1)} b_{nj} f_{n1} & \cdots & \sum_{j=1}^{m} x_{nj}^{(1)} b_{pj} f_{np} \end{Bmatrix}_{n \times p}$$

其中，X^* 中第 j 列可解释为以主因子 f_j 为主的空间组合加权新变量，共 p 个。将 X^* 中元素每列按原始样品坐标顺序排列，构成 p 个点阵数据，每一点阵都相当于新的网格数据，于是可依空间分布的顺序进行求异。关于求异方法，将上述点阵数据理解成具有漂移的区域化变量 Z（x），则

$$Z(x) = m(x) + R(x)$$

通过求数学期望 $m(x)$可得 $R(x)$，即为区域异常。当然这里假定 $Z(x)$存在变异函数，其增量具有一阶矩与二阶矩，在无偏性与最优性条件下通过解克里格方程组可求出 $m(x)$，这里的 $R(x)$分布形态进一步可由 DEM 数字高程模型以图像形式表达出来。

二、水系沉积物地球化学元素 R 型因子分析

对研究区水系沉积物采集 6504 个样品进行试验分析，每个试验分析的项目为 Ag、As 、Au、Ba 、Bi、Co、Cr、Cu、Hg 、Mn、Mo、Ni、Pb、Sb 、Sn、Ti、W、Zn、Fe_2O_3、MgO 共 20 项。首先对试验分析的地球化学元素进行原始数据的标准化处理，并计算 20 个变量间的相关系数矩阵 R 如下(表 4.2)。相关阵 R 是对称矩阵，它是因子分析方法的出发点，因子分析的重要内容是研究相关矩阵的结构。在 R 的基础上结合因子分析模型，采用主成分分析法求主因子解。这里需要确定公因子的个数 P。R 的正特征值等于相应主因子的方差贡献，为了达到简化变量的目的，我们要舍掉方差贡献小的因子，仅保留方差贡献大的少数因子。确定公因子数的方法主要有以下三种方法：一是只取大于 1 的特征值；二是找特征值变化的突变点；三是根据方差贡献的累计百分比选因子数。本次研究我们采用第一种方法，只取大

表 4.2　相关系数

	Ag	As	Au	Ba	Bi	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Mo	Ni	Pb	Sb	Sn	Ti	W	Zn	Fe2O3	MgO
Ag	1																			
As	0.19	1																		
Au	0.20	0.41	1																	
Ba	0.02	0.09	0.02	1																
Bi	0.21	0.22	0.10	0.02	1															
Co	0.02	0.06	-0.01	0.12	0.02	1														
Cr	0.05	0.10	0.07	0.13	-0.01	0.38	1													
Cu	0.14	0.09	0.06	0.01	0.11	0.10	0.15	1												
Hg	0.23	0.21	0.35	0.00	0.04	-0.03	0.03	0.06	1											
Mn	0.15	0.06	0.00	0.01	0.06	0.33	0.09	0.05	-0.03	1										
Mo	0.04	-0.05	-0.02	-0.17	0.02	-0.08	-0.16	-0.01	-0.02	0.02	1									
Ni	0.06	0.11	0.06	0.15	-0.01	0.55	0.81	0.17	0.03	0.19	-0.14	1								
Pb	0.37	0.23	0.22	0.00	0.17	-0.07	-0.06	0.09	0.58	-0.02	0.02	-0.05	1							
Sb	0.11	0.57	0.24	0.05	0.20	0.04	0.10	0.08	0.20	0.01	-0.05	0.10	0.29	1						
Sn	0.07	0.02	0.00	-0.04	0.05	0.01	0.01	0.02	0.00	0.07	0.00	0.01	0.00	0.01	1					
Ti	0.05	0.01	-0.07	0.32	0.02	0.53	0.21	0.03	-0.03	0.32	-0.10	0.42	-0.08	0.03	-0.01	1				
W	0.13	0.11	0.05	-0.15	0.33	-0.19	-0.26	0.03	-0.02	-0.03	0.23	-0.26	0.11	0.13	0.01	-0.17	1			
Zn	0.35	0.13	0.22	-0.10	0.06	0.01	-0.09	0.05	0.71	0.08	0.06	-0.02	0.72	0.13	0.02	0.05	0.08	1		
Fe2O3	0.10	0.05	-0.02	0.14	-0.01	0.60	0.34	0.11	-0.03	0.47	-0.04	0.56	-0.05	0.03	0.01	0.79	-0.17	0.11	1	
MgO	0.17	0.13	0.22	0.02	0.07	0.12	0.32	0.12	0.20	0.04	-0.11	0.33	0.21	0.13	0.00	0.00	-0.12	0.21	0.12	1

于 1 的特征值共有 7 个，其特征值分别为 3.63、3.17、1.61、1.58、1.24、1.03、1.01，依次提取出 7 个互不相关的因子。这事实上得到了由 7 个公因子所确定的 7 维公因子空间。将 20 个变量简化成 7 个公因子，相当于将各变量用它们在公因子空间上的投影来代替，其方差贡献累计百分比达 66%，我们可以认为这 7 个因子已包含原始变量大部分信息。

主因子解不是最终的因子解，基于因子解的不唯一性，以主因子解为基础寻求地质意义比较明显的而便于解释的因子解。主因子不满足：“简单结构准则”，出现相当多的中等载荷，使各因子的地质含义含混不清，不利于对因子进行解释。我们对主因子解进行正交旋转。下表(表 4.3)为对研究区内水系沉积物地球化学元素试验分析结果所作的 R 型方差极大正交旋转因子解的因子载荷矩阵。

表 4.3　方差极大正交旋转因子解

微量元素	第 1 因子	第 2 因子	第 3 因子	第 4 因子	第 5 因子	第 6 因子	第 7 因子	公因子方差
Ag	0.09	0.47	0.08	0.03	0.01	0.46	0.19	0.48
As	0.03	0.11	0.06	**0.85**	0.04	0.11	0.03	0.76
Au	-0.10	0.30	0.16	**0.57**	-0.06	-0.06	0.04	0.47
Ba	0.22	-0.04	-0.02	0.07	**0.77**	0.06	-0.11	0.67
Bi	0.02	0.02	-0.05	0.24	0.07	**0.72**	0.06	0.59
Co	**0.70**	-0.05	0.36	0.04	-0.01	-0.04	0.00	0.62
Cr	0.20	-0.09	**0.84**	0.08	0.06	-0.05	0.00	0.77
Cu	-0.02	0.06	0.39	-0.09	0.03	**0.52**	-0.04	0.44
Hg	-0.06	**0.83**	0.06	0.17	0.03	-0.11	-0.03	0.74
Mn	**0.64**	0.04	-0.03	0.03	-0.20	0.08	0.24	0.51
Mo	0.05	0.02	-0.20	-0.04	**-0.66**	0.14	-0.14	0.52
Ni	0.46	-0.05	**0.78**	0.08	0.04	-0.04	-0.02	0.83
Pb	-0.07	**0.83**	-0.03	0.15	0.05	0.16	-0.02	0.74
Sb	0.02	0.12	0.05	**0.78**	0.06	0.12	-0.04	0.65
Sn	0.00	-0.01	-0.01	0.01	-0.01	0.02	**0.94**	0.89
Ti	**0.85**	0.00	0.05	-0.02	0.25	-0.01	-0.06	0.80
W	-0.11	-0.01	-0.34	0.17	-0.31	**0.59**	-0.07	0.60
Zn	0.10	**0.92**	-0.05	0.02	-0.10	0.01	0.01	0.86
Fe_2O_3	**0.88**	0.03	0.24	0.00	0.00	-0.01	0.00	0.84
MgO	-0.08	0.30	**0.62**	0.07	0.01	0.05	0.04	0.49
方差贡献累计%	18.1%	33.97%	42.04%	49.92%	56.13%	61.26%	66.31%	

根据方差极大正交旋转结合本区的地质概况，按因子载荷的大小将各因子所涉及的关联顺序排列(各关联中的正负号相当于正交因子轴的两端)，我们可进行地质解释如下:

因子 F_1 上具有高载荷的元素变量有：Co、Mn、Ti、Fe_2O_3。Fe、Co、Ti 含量高，说明这部分元素基性程度偏高，属基性—超基性成因。且 Fe、Co 相关系数为 0.6 ，Fe、Ti 相关系数达 0.8，元素间相关性较强。因子 F_1 代表一个与 Fe、Co 矿化有关的基性元素的聚集过程。

因子 F_2 上具有高载荷的元素变量有：Hg、Pb、Zn。Pb、Zn 为亲铜族成矿元素，二者经常伴生，一起作为多金属矿的指示元素。Zn、Pb 的相关系数达 0.72。本组元素组合反映了低温热液成矿元素 Zn、Pb 为主的聚集矿化过程。

因子 F_3 上具有高载荷的元素变量有：Cr、Ni、Mgo。Cr、Ni 为亲铁族成矿元素，说明这部分元素与基性、超基性暗色火山岩类有关。且 Cr、Ni 相关系数达 0.81，元素间相关性较强。

因子 F_4 上具有高载荷的元素变量有：As、Au、Sb。砷、锑均为亲铜族成矿元素，属于岩石圈上部的稀有组分，地球化学性质接近，在自然界中常以自然砷、自然锑及砷锑合金的形式分布。这组元素的共生组合反映了中低温热液成矿元素的聚集过程，出现 As、Sb 矿化。

因子 F_6 上具有高载荷的元素变量有：Bi、Cu、W。Bi、Cu 二者为亲硫成矿元素。本组元素组合反映了与中酸性岩体有关的中高温热液成矿元素 Cu、W 的聚集矿化过程。

其它因子 F_5、F_7 上具有高载荷的元素变量少，且变量载荷也都很小，在此不再详细讨论。

4.2.3 组合异常空间分布 DEM 模型

相关组合元素异常是以某种元素为主，相关元素为辅的组合状态。本文中因子分析模型定量地研究了地球化学元素间的共生组合规律，将多个地质变量转化为有指定地质意义的少数几个新变量，这里我们称为主因子。利用这些新变量进一步通

过泛克里格模型，在无偏性和最优性条件下，求出漂移和剩余,将地球化学背景与地球化学异常分离开来。

地球化学异常的图形表示在传统上采用等值线图，即把异常值相等的点用线连接起来。从等值线图上我们可以比较直观地观测出元素组合异常的分布情况，如异常强度的空间变化尺度及其所对应的地理位置，但等值线图也存在一定的缺陷，就是不够直观明了。为了达到异常的空间表达视觉化，本次组合异常空间分布研究采用空间 DEM 表示。3D 图直观明了的展示了各因子中元素组合异常的空间分布形态，异常起伏的高低与异常的强弱相对应。

应用上述方法求得该区地球化学组合异常图（图 4.10-图 4.14）。

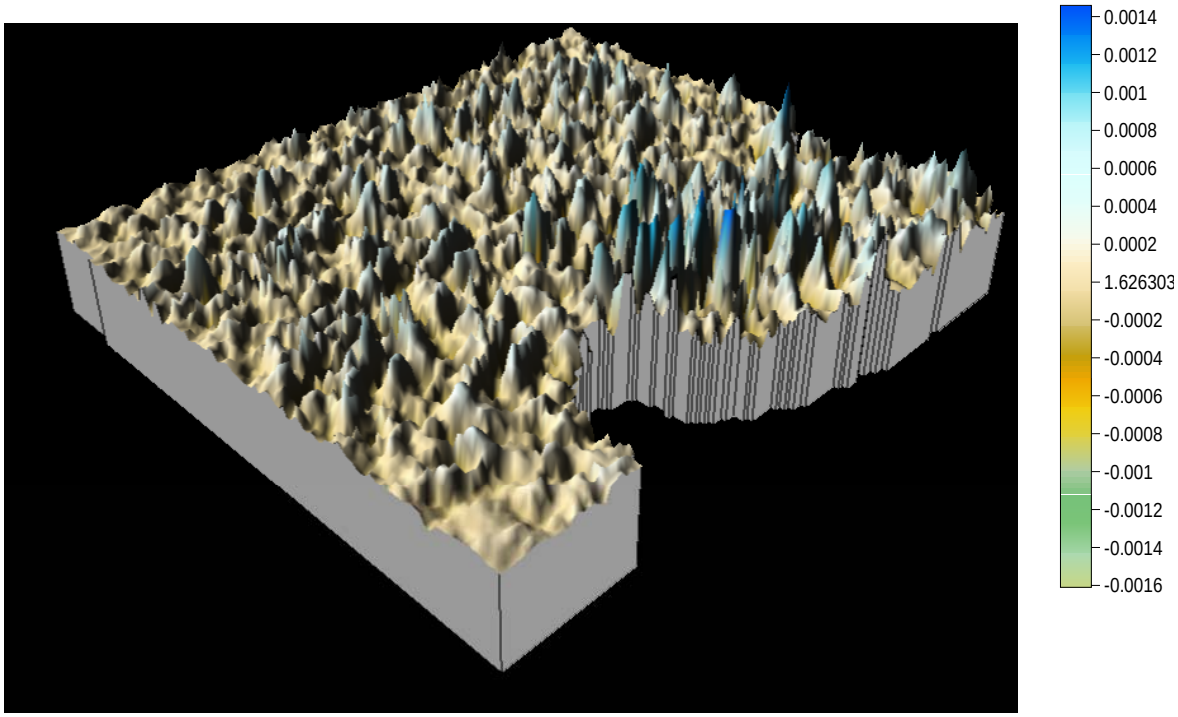


图 4.10　F_1 空间定量组合异常 3D 分布图

由图 4.10 可见，F_1 元素组合异常 3D 图起伏形态复杂，组合异常高值集中出现在玄武岩覆盖区。

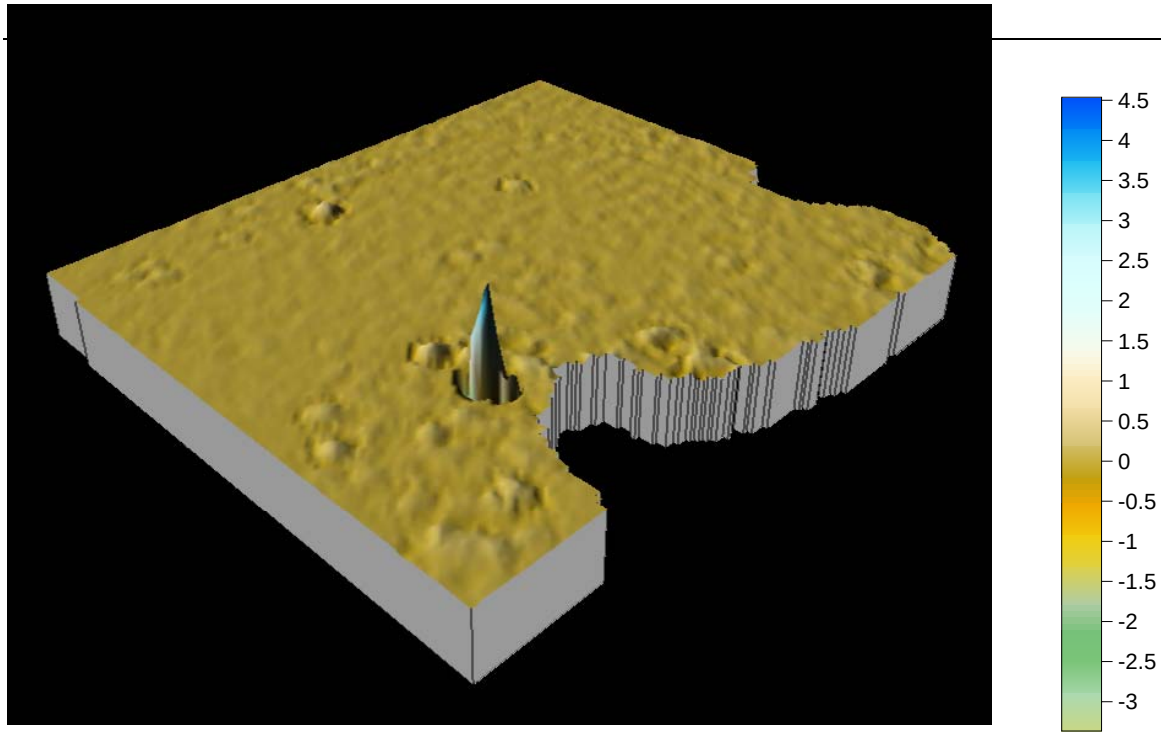


图 4.11　F_2 空间定量组合异常 3D 分布图

F_2 元素组合异常在空间上集中分布在老岭地区，3D 图中异常突起明显，且强度较高，

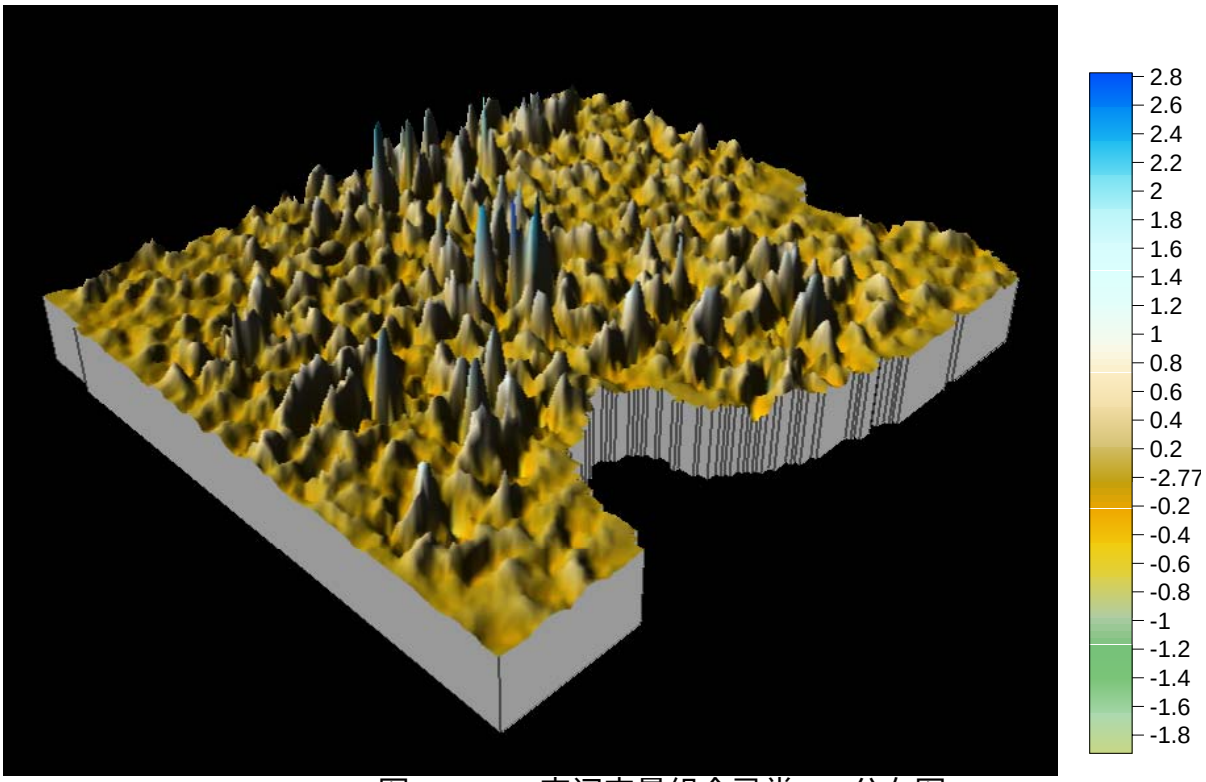


图 4.12　F_3 空间定量组合异常 3D 分布图

F_3 元素组合异常 3D 图起伏形态复杂，异常的走向呈北东—南西向，3D 图中起伏较强，强度较高。

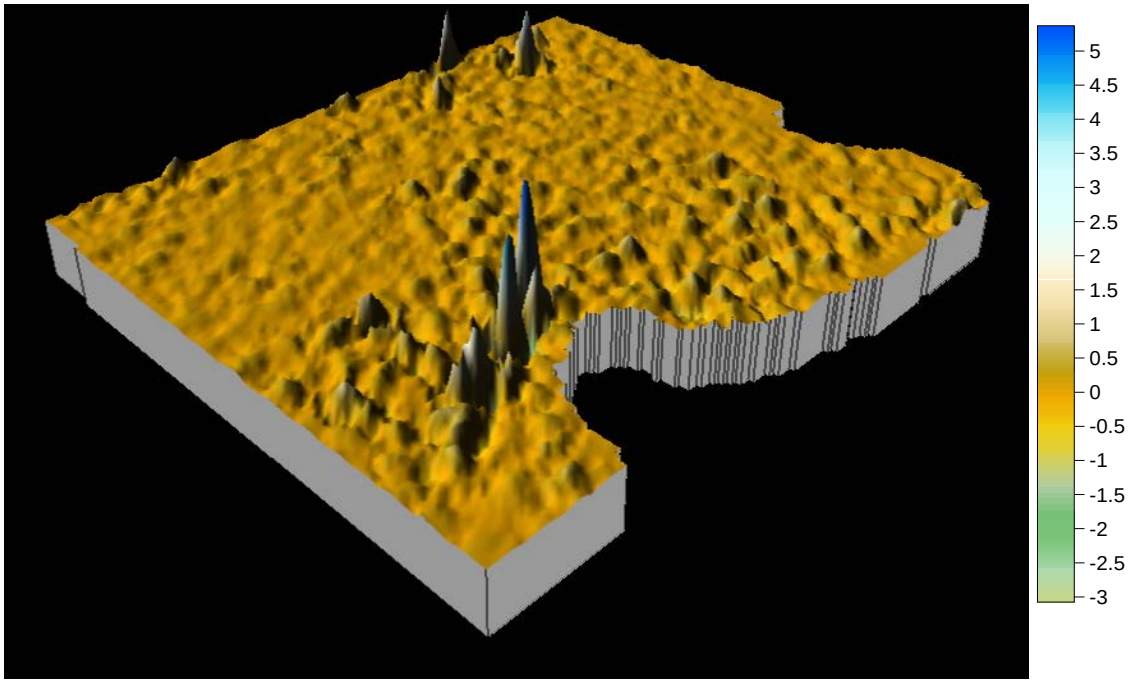


图 4.13　F_4 空间定量组合异常 3D 分布图

F_4 元素组合异常 3D 图起伏形态简单，异常集中出现在研究区的西南部，即老岭成矿带附近，异常的走向呈北东—南西向，异常突起明显，强度较高。

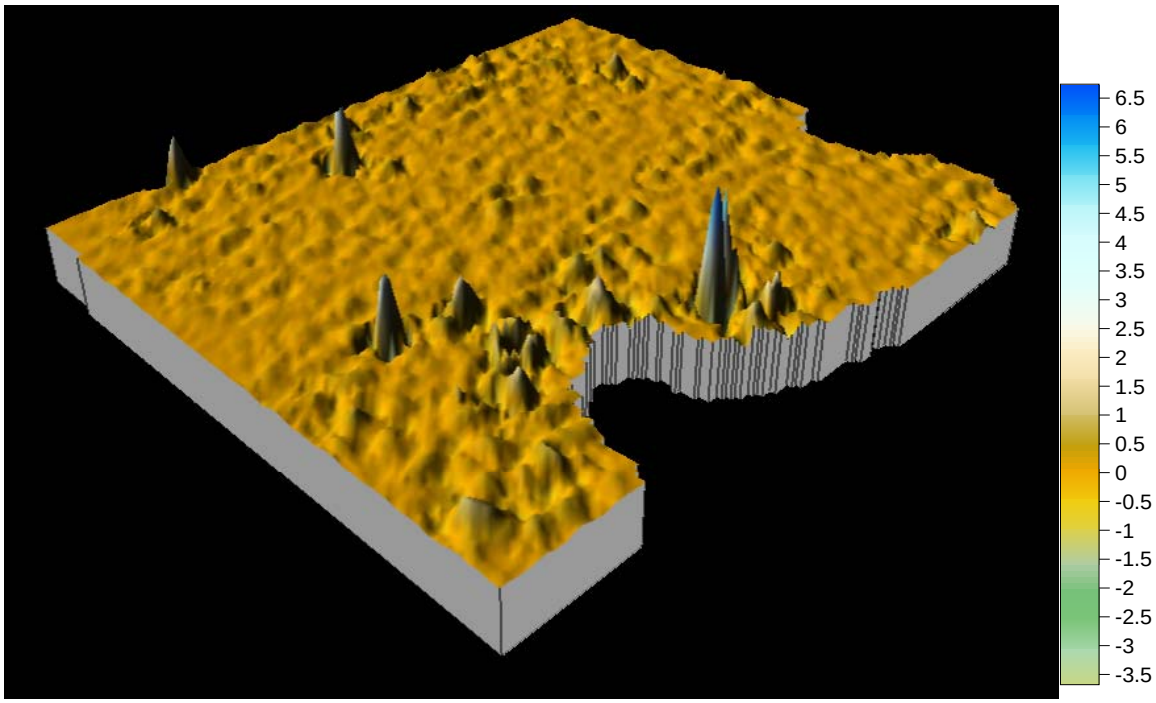


图 4.14　F_6 空间定量组合异常 3D 分布图

F_6 元素组合异常 3D 图起伏形态相对简单，异常集中出现在研究区的南部，异常的走向呈北西—南东向，异常突起明显，强度较高。

4.2.4 组合异常空间分布特征

将用上述方法求得的该区空间定量组合异常图进行空间迭置，结合元素相关性确定综合异常元素，边界的确定以元素异常下限值的连线为边界。这样确定异常是多个元素组合，揭示不同成矿作用。全区共圈定出组合异常 22 处，组合异常具有明显的分带性，可分为 3 个带（图 4.15）。

Ⅰ带出现在研究区的东南，临江市蚂蚁河乡到长白县的梨树沟一带，其出露地层主要为玄武岩。组合异常形态不规则，呈东西向展布，带内出现组合异常 10 处，异常规模大、强度大，浓集中心明显，元素组合以 Co-Mn-Ti 为主，仅出现一处 Co-Mn-Ti-Cr-Ni 组合异常和一处 Cu-Bi-W 组合异常。根据异常性质，该带异常揭示此带应为与基性－超基性岩有关的钴矿化、锰矿化和钛矿化的混合带。

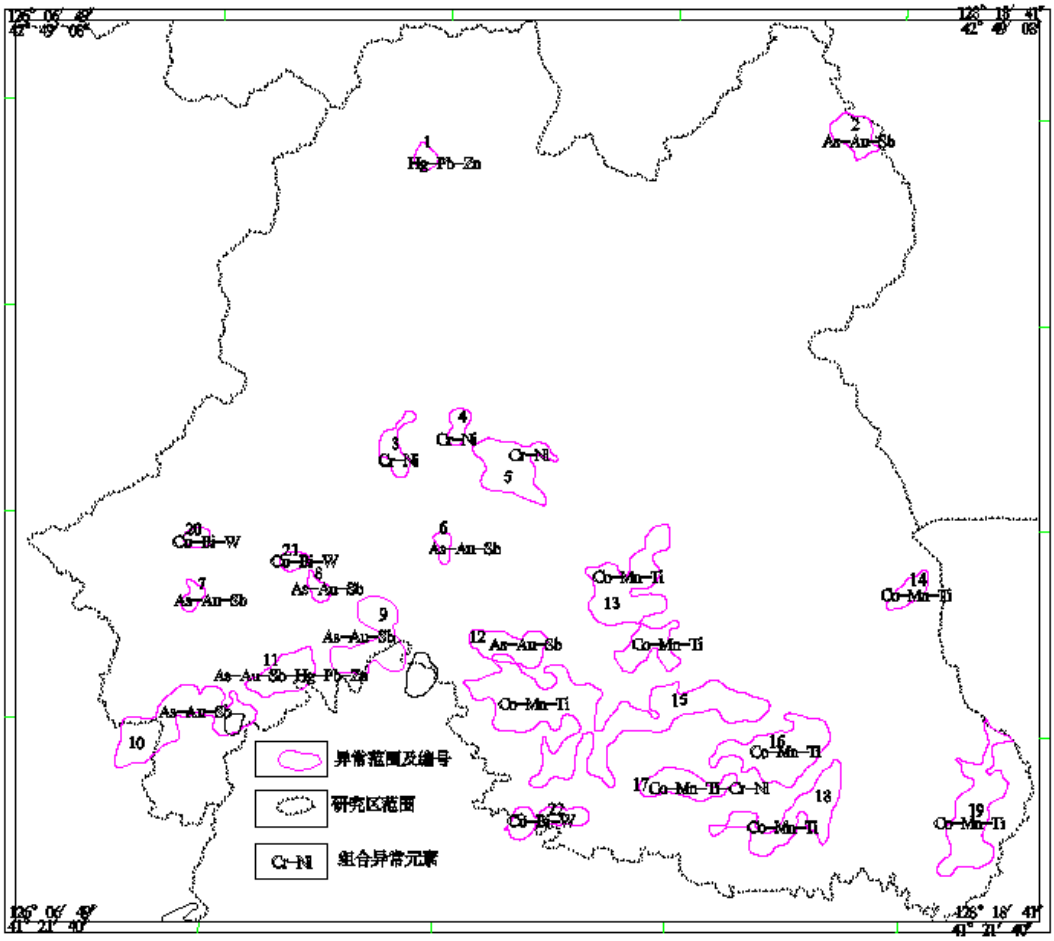


图 4.15　白山地区地球化学组合异常图

Ⅱ带出现在研究区的西南，临江市三道岔—花旗镇一带，其出露地层主要为老岭群。异常呈北东向展布，带内出现组合异常 8 处，异常规模大，元素组合以

As-Au-Sb 为主，仅一处出现 As-Au-Sb-Hg-Pb-Zn 组合异常，两组异常在空间上具有较好的叠加性。在此带内还有 2 处 Cu-Bi-W 组合异常。根据异常性质，该带异常揭示中低温热液成矿元素的聚集过程出现 As、Sb 矿化。

Ⅲ带出现在研究区中部，湾沟镇—闹枝镇—松树镇一带，其出露地层主要为侏罗系。带内出现组合异常 3 处，异常规模较小，元素组合为 Cr-Ni。该带异常揭示此带为与基性、超基性暗色火山岩类有关的元素聚集过程。

第 5 章　典型矿床特征

典型矿床研究在矿产勘查、矿床地质研究、矿产预测等工作中占有一定的位置，取得的研究成果可以使我们了解和掌握某区域内产出的某种矿中的某类矿床的地质特征，尽可能地查明哪些地质条件对矿床的形成起着控制作用，进而为矿床地质概念模型的构建奠定坚实的基础[29，55-57]。

5.1　荒沟山金矿床

5.1.1　矿床地质特征

荒沟山金矿床位于吉南古元古代裂谷地体内，处于老岭变质核杂岩中段东翼，并受其控制。

一、地层

矿区地层为下元古界老岭群珍珠门组和大栗子组，珍珠门组分布于矿区西北侧，为一套镁质碳酸盐岩。岩性自下而上为：碳质条带状白云石大理岩、白云石大理岩、硅化白云石大理岩、局部夹褐铁矿化角砾状白云石大理岩，部分出现糜棱岩化，碎裂构造发育，为金矿赋存层位；大栗子组出露于矿区东南侧，主要岩性为二云片岩、千枚岩、大理岩等，片岩、千枚岩中亦夹有大理岩、石英岩。二套岩组为断层接触，岩层总体走向 NE-SW 向，倾向 SE，倾角 50°～80°，局部直立或反倾。

二、构造

区内见两期变形构造，第一期主要表现为区域片理构造，第二期表现为复式背形和向形构造。断裂构造有韧性剪切带和韧脆性断裂，韧性剪切带长 4.3km，走向 NNE-SSW，倾向 SE，倾角 51°～84°，带内具明显变形强弱分带现象，从两侧向中心依次为糜棱岩化带、初糜棱岩带、糜棱岩带和超糜棱岩带；北北东向韧脆性断裂有三条，其中 F_1 断裂为珍珠门组大理岩与大栗子组片岩接触带构造，为荒沟山“S”形断裂的主要一支，为变质核杂岩东南翼盖层内的主要滑脱构造之一，矿区内长 8km，呈舒缓波状北北东向纵贯全区，倾角陡，近直立，北段倾向 SE，南段倾向 NW，在断裂带大理岩一侧，因层间滑动造成岩石多碎裂化和角砾岩化，形成构造角砾岩和碎裂岩，片岩一侧岩石多表现为稳定的片理化，形成片理化带，构造具多

期活动和被晚期断裂构造迭加、改造的特征，为本区控矿、容矿构造。老秃顶子花岗岩出露于矿区西北部，与珍珠门组大理岩呈侵入接触关系，岩性为似斑状黑云母花岗岩，岩体侵位时间为 197～215Ma[58]。区内脉岩发育，多分布在 F_1 断裂两侧，走向一般为 NE 向，主要有闪长岩、闪长玢岩、石英闪长玢岩、闪长细晶岩、辉绿岩及云斜煌斑岩等。

5.1.2 矿体特征

1、矿体展布特征

全区分南大坡矿段、石灰沟矿段、杉松岗矿段等三个矿段，由 8 个矿组、32 个矿体组成，具工业意义的矿体 23 个。

南大坡矿段：位于矿床中部，矿段长 1200m，从 SE 向 NE 分为Ⅰ-Ⅲ号矿组。

Ⅰ矿组：自下而上由三个矿体组成，矿体相距 15～20m，赋存于距 F1 断裂 30～50m 范围内碎裂化、硅化白云石大理岩中，各矿体产状基本一致，与 F1 近于平行，500m 标高以上倾向 SE，500m 标高以下倾向 NW，倾角 65°～70°，具尖灭再现特点，矿体形态为柱状，走向长：倾向深=1：3～1：7。矿体与围岩界线清楚，品位 1.13×10^{-6}～22.84×10^{-6}，厚 0.80m～4.39m。

Ⅱ矿组：以隐伏矿赋存于 F_1 断裂下盘 70～150m 范围内。近矿围岩为碎裂化、角砾岩化、硅化白云石大理岩，受 F_1 或平行 F_1 断裂次一级断裂控制，总体走向 NNE—SSW，倾向 SE，倾角 60°～80°。多个矿体近平行排列，间距 3m～20m 不等。矿体形态为脉状、透镜状，540m 标高以上局部膨大形成矿囊。矿体长 26～275m，倾向最大延深 380m，厚 0.8～9.25m，品位 1.02×10^{-6}～50.73×10^{-6}。

Ⅲ矿组：矿体产出特征与Ⅱ矿组相似。

2、矿石特征

①矿石结构构造

矿石结构：自形-半自形结构、它形粒状结构、显微粒状结构、交代结构、假象构、胶状结构、纤粒状结构、显微团粒状结构等。

矿石构造：稀疏浸染状构造、浸染状构造、角砾状构造、细脉状构造、蜂巢状构等。

②矿石矿物成分

矿石矿物成分列于表 5.1。

表 5.1 荒沟山金矿矿石矿物成分

脉石矿物	金属矿物			
	自然元素矿物	硫化物及复硫盐矿物	氧化物	次生及氧化矿物
石英（玉髓）、白云石、方解石、绢云母、黑云母、角闪石、（透闪石）斜长石、萤石、粘土类矿物（蒙脱石、伊利石）、榍石、重晶石、磷灰石、石榴石、辉石绿帘石、十字石	自然金、银金矿、自然砷、自然铜	黄铁矿、毒砂、白铁矿、闪锌矿、方铅矿、辉锑矿、黄铜矿、黝铜矿、（砷黝铜矿、银黝铜矿）辉锑银矿、硫锑铅矿、硫锑铜银矿、辉砷镍矿、辉砷铅矿、硫镍钴矿、方硫铁矿、针镍矿、辉银矿磁黄铁矿、硫钴矿、胶黄铁矿、辰砂、雄黄	磁铁矿、金红石、钛铁矿	褐铁矿、孔雀石、蓝铜矿臭葱石、铜兰、辉铜矿

③微量元素地球化学特征

金矿体中 Sb、Hg、As、Au、W、Ag 强烈富集，反映了成矿元素组合特点，Li、Cu、Bi、Cr、Co 较为富集，Sn、V、Ni、Zr、Hf、Nb、Tl、Be 等接近正常大理岩丰度值，绿片岩、片岩、脉岩中 F、Rb、Zr、Hf、Nb、Tl、B 等元素相对富集。

④金的赋存状态

岩矿鉴定结果表明，金以独立的金银卤化物形式存在，以自然金为主，少量银金矿物。金银卤化物呈显微状、次显微状，粒径多小于 0.004mm，0.001～0.003mm 占大多数，以粒间金为主，包裹金、裂隙金次之。其形态以显微粒状、乳滴状、角砾状为主，载金矿物有黄铁矿、毒砂、褐铁矿、辉锑矿、兰铜矿等。

⑤矿石类型

依矿石矿物组合及硫化物含量，将矿石划分为金-石英-碳酸盐系列-贫硫化物型金矿石。依矿石组成及结构、构造划分为角砾状硅化矿石、致密块状硅化矿石。

⑥围岩蚀变

矿区围岩蚀变有硅化、绢云母化、绿泥石化、碳酸盐化、类矽卡岩化等。

5.1.3 矿床成因

荒沟山金矿床的成因类型有岩溶成因和浅成低温热液型及破碎带蚀变岩型等三种观点[58-61]。经对矿床产出的地质背景及矿床地质特征、控矿条件综合分析认为，该金矿床为热液型金矿床。

（1）成矿物质来源

以往一直把珍珠门组大理岩作为金矿形成的唯一“矿源层”，因为它具有高丰度值。综合前人所测荒沟山金矿床及外围硫同位素组成结果[60-65]，矿区地层中 δ34S 数值区间为 7.3‰～31.8‰，极差为 24.5‰，具重硫特点。矿区脉岩硫同位素分布范围为 2.57‰～8.10‰，极差为 5.53‰，塔式效应较明显（图 5.1），接近陨石硫而向正向偏移，推测有地层流的混入，矿体中硫同位素分布范围 2.05‰～9.16‰，均值为 5.84‰，极差 7.11‰，变化范围较小，与脉岩硫类似，体现出深源硫的特点。

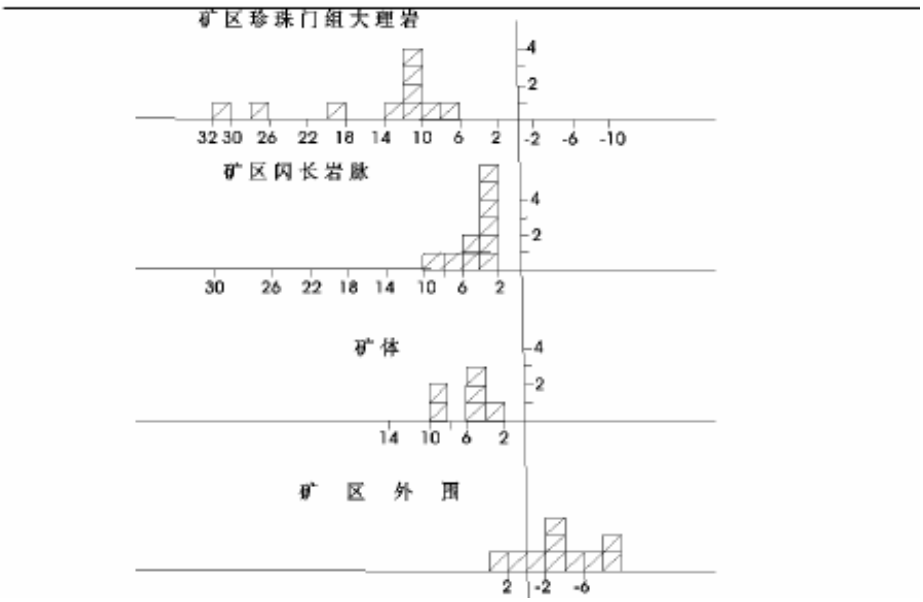


图 5.1 荒沟山金矿区及外围硫同位素直方图

（据关键，2004）

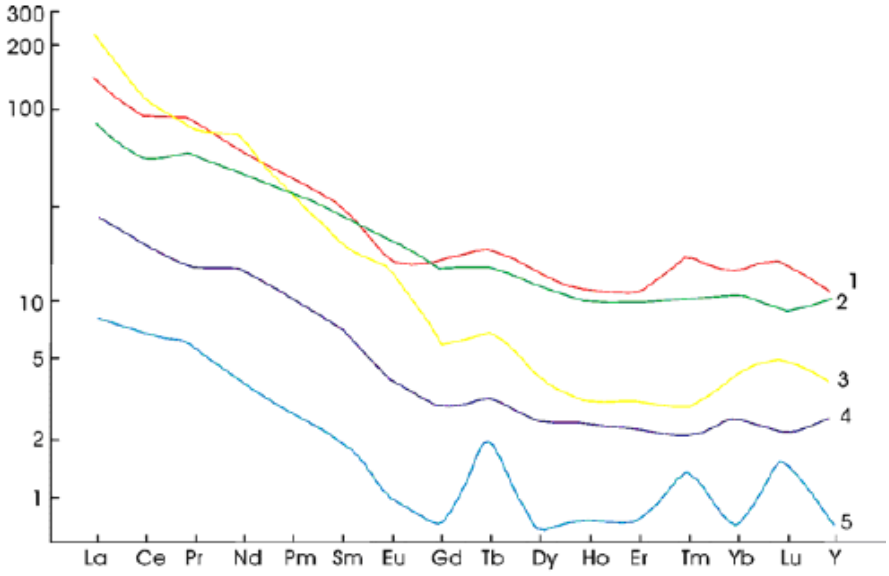
对矿石及围岩的稀土元素含量分析，其稀土配分属轻稀土富集型（图 5.2），矿石配分曲线与闪长玢岩脉相似，并不与大理岩相一致，预示金和其它成矿元素可能属混合来源[61]。

（2）成矿流体来源

对矿床石英中流体包裹体研究[61]，测定的 δD 值在（-76～-100）×10-3 之间，平均为-90×10-3，氧同位素计算的 $\delta^{18}O_{H2O}$ 值在-0.28×10-3～+8.34×10-3 之间，在 $\delta^{18}O_{H2O}$ 图上，5 件样品点均落在岩浆岩区左下侧，属大气-热液水范畴。包裹体液相成分盐度为 0.28～4.2×10-2（NaCl），平均 1.5×10-2（NaCl），PH=5.7～6.2，反映大气降水的特点。所测包体均一温度为 205～230℃（未经压力校正），而据爆裂法所测为 270～

304℃，根据金与玉髓石英共存推测，形成温度相对较低，应属中低温。成矿压力为 167×10^{5}Pa，计算其形成深度为 1.67km，属浅成矿范围。

综上所述，认为深部流体、岩浆热液、大气降水作为成矿流体共同参与了成矿作用。



1、片岩；2、闪长玢岩脉；3、太古宙片麻岩；4、矿石；5、大理岩

图 5.2　荒沟山金矿床稀土球粒陨石标准化曲线图

（据郑传久，1995）

（3）成矿时代

矿床内矿体定位前闪长岩脉年龄（全岩 K-Ar）平均 75.975Ma，金矿强蚀变岩年龄 103.754Ma，测定矿石年龄为 107.5Ma 域上与金成矿有关的闪长岩脉年龄 79～81Ma（南岔金矿），由此可确定荒沟山金矿成矿期为燕山晚期[59-66]。此时段正是中国东部岩石圈拆沉减薄时期，强烈的伸展作用形了老岭变质核杂岩，为金矿形成创造了条件。

5.2　金英金矿[67]

金英金矿是通化地勘院 1999 年在白山市板庙子一带勘时发现的。2003 年，通化地勘院与澳大利亚澳华黄金公司签订了合作经营合同。经过 4 年多勘查，金英金矿探明矿石储量 650 万吨，平均品位 3.8 克／吨，约合 26 吨黄金。

5.2.1 矿区地质特征

矿区出露的地层有老岭群珍珠门组，青白口系的钓鱼台组和南芬组。珍珠门组大理岩的主要矿物成分为白云石，含量 90-95%，粒度 0.04-0.06mm；次为石英，含量 3-7%，粒度 0.15-0.50mm，变晶结构。构造有条带状、角砾状。珍珠门组顶部与上伏的钓鱼台组石英砂岩接触部位，发育有白云石大理岩质构造角砾岩带。该角砾岩带呈褐红—赤红—紫红色，多受硅化蚀变，厚度可达数十米，矿体主要赋存于上伏的石英砂岩中。

钓鱼台组石英砂岩是矿区出露面积最广的岩层。主要分布于矿区中部，F_{102} 断裂南东侧，呈宽带状北东向延伸，在断层北西侧也有长条带状出露。岩层走向 N35°，倾向 SE，倾角 35-40°。钓鱼台组石英砂岩，顶部为含绿石石英砂岩，中部为厚层状中粒石英砂岩，底部为赤铁石英砂岩，与下伏珍珠门组大理岩呈角度不整合接触或断层接触。沿不整合面由于早期的隆—滑构造作用和晚期的逆冲构造应力作用，形成厚大硅化构造角砾岩带，是金矿的主要赋存层位。石英砂岩岩性为灰白色、以中粒砂状结构为主，颗粒支撑，孔隙式胶结，层状构造。主要矿物成份为石英砂屑，含量 90--95%，长石、云母屑少量。胶结物为粘土质，少量泥铁质。少部分为暗灰色石英砂岩为钙质胶结。底部的赤铁石英砂岩与下伏的大理岩接触部位发育有构造角砾岩，岩石为褐红—紫红—紫灰色，角砾结构。角砾成分主要有赤铁石英砂岩，石英砂岩，少量赤铁矿，石英岩和石英大理岩的角砾岩，并见有少量闪长玢岩角砾。经矿化蚀变后，称硅化构造角砾岩带，是矿区主要的赋矿层位。

南芬组分布于矿区东南部和 F_{102} 断裂北西侧。上部为紫色、黄绿色钙质页岩，下部为灰绿色页岩夹薄层泥质粉砂岩。与下伏钓鱼台组呈整合接触。在接触部位多形成薄层含海绿石中粒石英砂岩。薄层泥晶灰岩为绿灰色—深灰色，薄层条带状构造，微晶结构。矿物成分主要为钙泥质矿物，含少量炭质。常见泥质粉砂岩夹层。受构造应力作用后常形成揉皱和片理化带。

矿区出露地层属“浑江褶断束”北翼的单斜构造。在 F_{102} 断裂的两侧，同层位的岩层重复出现，是由于 F_{102} 断裂深切地层，其上盘（SE 盘）向北西逆冲抬升，再经剥蚀所致。同时由于这种逆冲的构造应力作用，使上盘地层产生层间破碎带、片理化和揉皱构造，使 F_{100} 在临近 F_{102} 和与其交汇部位受到强烈的叠加改造，有利于成矿作用发生。矿区内断裂构造十分发育，主要有北东向的和北西向的两组。其中北

东向的规模较大，与成矿关系密切；北西向的多横切地层和北东向断裂。F_{102} 断裂是矿区内最大的断裂，由南西到北东斜贯矿区，在矿区内长 6000 多米，沿走向和倾向均呈舒缓波状。该断层走向 N38-50°，倾角 62-76°。F_{100} 断裂是叠加在钓鱼台组石英砂岩与珍珠门组大理岩之间的不整合面上，性质为陆台边缘的隆—滑层间断裂构造，分布在 F_{102} 断裂的南东侧。该断裂总体走向 N40-50°，局部呈 NNE 走向，SN 倾，倾角 43-73°，在与 F_{102} 断裂交汇、复合部位附近产状变陡，形成有利成矿部位，向深部逐渐变缓。全部金矿体均赋存于 F_{100} 断裂带内。矿区内北西向断裂多为数条断裂大致平行密集分布，形成 NW 向断裂带，特征是每条断裂长度都不大，但陡倾、横切北东向岩层、北东向断裂和矿体，并有错移。其成矿后活动显著。

5.2.2 矿体特征

Ⅰ号矿体：位于矿床的中间部位，属隐伏矿体，其头部埋藏在地表以下 70 米。在不同勘探线、不同标高，矿体走向长度、倾斜延深和厚度都有很大变化。在 650-600m 标高之间，矿体走向最长 390-310m，450m 标高矿体长 140m，540m 标高处，矿体长仅为 60m，矿体平均长度为 193m，矿体倾斜延深最大 360m，矿体形态的这种变化反映了赋存在张性构造角砾岩带中矿体边界的“锯齿”状张性形态特点。从标高所切矿体水平断面图看，浅部矿体紧贴压扭性断裂带，矿体呈走向上边界比较平直的似层状体，形态较规则。是原硅化构造角砾岩带在主成矿期受断裂强烈叠加改造的结果。该部位矿体厚度大，含金品位高，矿体边界形态变化较规则。

Ⅱ号矿体：位于硅化构造角砾岩带中。赋存标高从 680m-270m 之间。矿体部分出露于地表，但向下延伸不大即尖灭。只在矿体西端，矿体沿硅化构造角砾岩带向南东侧延深。该矿体形态不规则，在垂直投影图上，呈被 4 个无矿间隔分开的断续半环状体，局部呈短透镜体，矿体倾向 SE，倾角为 45-55°。矿体走向上最长 110m，倾斜延伸最大 420m，矿体水平厚度 6.3-26.3m，矿体平均真厚度 10.5m，厚度变化系数 76%，属厚度变化稳定型。

Ⅲ号矿体，富存于 350-500m 标高的隐伏矿体，中间由贫矿化带相联系。矿体呈短透镜状，走向长 220m，倾斜延深仅 40-100m。矿体走向 N E 25°，倾向 SE，倾角 50°。矿体平均真厚度 10.1m，变化系数 90.1%，属厚度较稳定型。金平均品位 2.01g/t，变化系数 82.1%，属品位较均匀型。为小而贫的矿体。

Ⅳ号矿体，为隐伏矿体，矿体头部深埋在地表以下 200-260m 之间。现控制矿体走向延长 500m，倾斜延深最大 160m，一般在 110-160m，矿体形态呈较大的似层状体，走向 N45-50°，倾向 SW，倾角 43-60°，变化较大。矿块平均水平厚度 11.08-13.77m，平均真厚度 7.3m，厚度变化系数 57%，属于厚度变化稳定型。该矿体赋存于张扭性硅化角粒岩带中，头部以近 20°角向 NE 倾伏延深，相对于其他矿体，该矿体硫化物含量很低，硅化、重晶石化发育，产状稳定，选矿试验取得了较高的回收率。

5.2.3 矿石质量特征

1.矿石化学成分

由于本矿区矿体形成于北东向断裂接触断面靠近赤铁石英砂岩一侧的硅化蚀变带中，受北东向断裂构造控制。矿石主要份为为多期次石英组成，局部存在赤铁矿化、褐铁矿化、黄铁矿化、重晶石化等。通过对金属矿物进行 X 荧光半定量分析，获得了矿石较全面的化学组分信息，结果见表 5.2。

从表中可以看出，SiO_2、SO_3、 Fe_2O_3、Al_2O_3、BaO 含量高达 98.03%，这与肉眼观察到的矿石是以石英重结晶和赤铁矿为主要成分的硅化物构造角砾岩一致。同时说明矿区含 Ti、As、Zn、Pb、Cr、Ni 的矿物非常少。

表 5.2 矿石组合样 X 荧光半定量分析

序号	组分	结果	检测限	元素普线	强度	W/O 正常
1	SiO_2	48.0	0.0181	Si-KA	344.9508	52.3610
2	SO_3	31.2	0.0111	S-KA	303.4762	34.0915
3	Fe_2O_3	13.2	0.0054	Fe-KA	324.1380	14.4301
4	Al_2O_3	4.41	0.0067	Al-KA	40.1344	4.8094
5	BaO	1.22	0.0123	Ba-LA	2.3033	1.3327
6	K_2O	0.474	0.0018	K-KA	10.0052	0.5174
7	P_2O_5	0.412	0.0042	P-KA	5.1125	0.4500
8	SrO	0.196	0.0006	Sr-KA	40.5784	0.2138
9	CaO	0.189	0.0019	Ca-KA	3.4183	0.2064
10	MnO	0.176	0.0370	Mn-KB1	0.6100	0.1917
11	MgO	0.152	0.0120	Mg-KA	1.6910	0.1654
12	Cl	0.141	0.0056	Cl-KA	0.4726	0.1543
13	TiO_2	0.0801	0.0053	Ti-KA	0.3415	0.0874
14	As_2O_3	0.0513	0.0046	As-KB1	0.9981	0.0560
15	ZnO	0.00156	0.0009	Zn-KA	0.9353	0.0170
16	PbO	0.0121	0.0016	Pb-LB1	0.7455	0.0132
17	Cr_2O_3	0.0096	0.0024	Cr-KA	0.1129	0.0105
18	NiO	0.0060	0.0012	Ni-KA	0.2095	0.0065
合计		99.9447				

2.矿石矿物组成

矿区矿物组成有自然金、含银自然金及少量的银金矿。氧化矿物有褐铁矿、赤铁矿、石英、玉髓、金红石等。金属硫化物有褐铁矿、胶状黄铁矿、偏胶状黄铁矿、白铁矿和极少量或微量的毒砂、方铅矿、闪锌矿、黄铜矿和磁黄铁矿。非金属矿物有重晶石、白云石和极少量粘土矿物、绿泥石等。其中主要矿物为石英、玉髓、白云石、重晶石、黄铁矿、白铁矿、赤铁矿、褐铁矿，其它矿物很少出现。金属硫化物含量极少，它们主要以稀疏侵染状、细脉状或团块状分布在硅化构造角砾岩带内中，且基本不与褐铁矿、赤铁矿同时出现，也不与自然金粒成连生体。

3.矿石类型

矿石自然类型为蚀变岩型，主要为硅化蚀变的构造角砾岩，角砾成分以赤铁石英岩为主，其次为大理岩。

5.2.4 矿床成因、成矿规律及找矿标志

1.矿床成因

吉林白山金英金矿是该区地质构造多期多阶段演化的产物，与太平洋板块运动有关的燕山期造山运动有关。

本区地处太古代基底凹陷的边缘，在早元古界与晚元古界之间形成了较大的不整合面，并由于地壳运动，沿此不整合面形成隆—滑型拆离性质的断裂构造，发育有厚大的构造角砾岩带。这一构造薄弱带为后期的构造热液活动创造了条件。

随着断陷不断的发展，沉积不断加厚，至中生代，由于太平洋板块的俯冲，本区再次发生强烈构造运动，形成大规模的北东向断裂束。与其伴随的潜火山—岩浆活动，在北东向断裂与北西向断裂的交汇部位，发生中酸性小侵入体的侵位活动。在燕山期造山运动的后期，矿区地层向北西向继续增长，随着断裂的逆冲，地壳深处形成的富矿热液急剧上升，使原有的构造角砾岩再次破碎，形成尖棱角状的角砾。在热液运移的过程中，温度骤然下降，使大量矿物包括石英及黄铁矿来不及结晶，形成了强硅化但无石英脉和与金矿物大小相近的，肉眼不可见的显微黄铁矿。因而使成矿物质多以微晶集合体状和微细粒的单体矿物态沉淀于硅化构造角砾岩的裂隙、晶隙、孔穴和空洞。赤铁石英砂岩在这种氧化环境中，以金—硫络合物形式迁

移的金得以分解并沉淀，大多数 S^{2-}被迅速氧化成 S^{6+}，形成大量重晶石，后者由于结晶温度较低，形成了完好的晶形。以硅化—显微黄铁矿—重晶石化为特征的这期金矿化成为该矿的主要成矿期。

吉林省白山金英金矿从矿石选冶来讲，该矿属于微细粒金矿，但与卡林型金矿无关，按国际金矿分类的大类，该矿属于中生代造山带型金矿。

2.成矿规律

金矿化严格受 F_{102} 和 F_{100} 的联合控制（图 5.3），全部金矿化都位于 F_{102} 上盘的 F_{100} 断裂中，叠加在不整合面构造角砾岩带上的 F_{100} 断裂既是控矿构造又是容矿构造。矿体在上部较陡，且品位高厚度大，走向方向上连续性好，往深部产状变缓，品位有降低趋势。在两断裂的交汇部位或附近，易形成厚大的金矿体，但其它部位也形成厚大矿体，可能有局部构造的叠加。绝大多数矿体是在 F_{100} 上盘赤铁石英岩为主要组分的角砾岩基础上形成的，上盘赤铁石英砂岩矿化范围广，蚀变带宽，只有少部分矿体位于不整合面下盘的大理岩中，下盘蚀变带明显变窄。裂隙和空洞、孔穴发育、重晶石化发育的强硅化构造角砾岩部位，金矿化强。

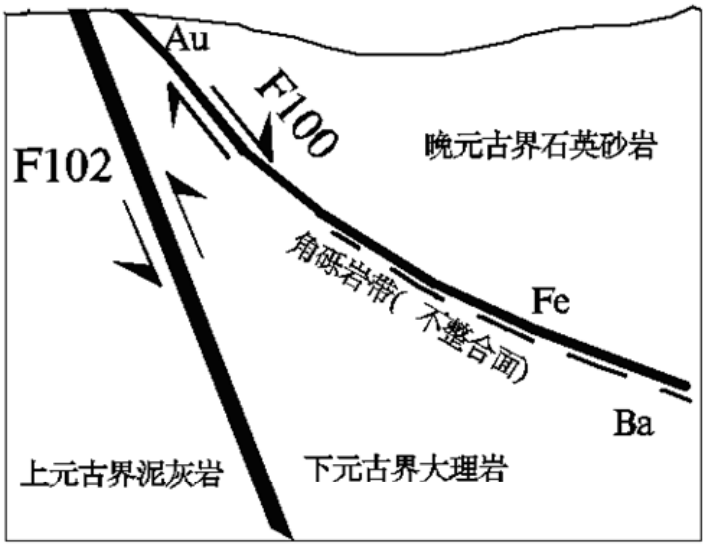


图 5.3　金英金矿控矿构造示意图

3.找矿标志

A．硅化构造角砾岩的标志：颜色为褐红—紫红色—赤红—紫灰色；蚀变为强硅化、褐铁矿化和重晶石化发育，裂隙、孔穴、晶洞发育的强硅化构造角砾岩带。

B.地球物理标志：较规则带状的、柱状的高阻（300Ω）、高极化率 （3%）综合异常。

C．地球化学标志

规模较大的带状金次生晕异常与硅化构造角砾岩带相吻合；构造原生异常元素组合为：Au、Ag（Cu、Pb、Zn）As、Sb、Hg、V、Mo、Co、Ni 的 12 种元素，其中 As、Sb、Hg 、V 为矿体的前缘晕。

5.3 大横路铜钴矿

大横路铜钴矿床的发现，是 20 世纪 90 年代吉林省地质找矿的重大成果，目前仅对矿床的一部分地段进行初勘，已达到大型矿床规模。该矿床的发现，不仅在矿种上填补了吉林省空白，而且带动了整个辽吉裂谷的铜钴勘查研究热潮。

5.3.1 成矿地质背景

矿床位于古元古代吉南裂谷地体内[68]，矿体产出于裂谷晚期建造老岭群大栗子组底部含碳千枚岩中[69]。岩层变形强烈，至少有三期以上变形，形成大量复式褶皱。断裂构造多呈北东向，属鸭绿江断裂带的次级断裂。矿区内岩浆活动微弱，仅有少量燕山期中-基性脉岩分布。

5.3.2 矿体特征

矿体与地层同步褶皱，沿走向呈舒缓波状，为层状、似层状、分枝状或分枝复合状，与围岩呈渐变关系。矿体连续性好，分三层产出，长 360～920m，宽 100～400m，延深 85～150m，厚 8.68～65.53m（图 5.4）。

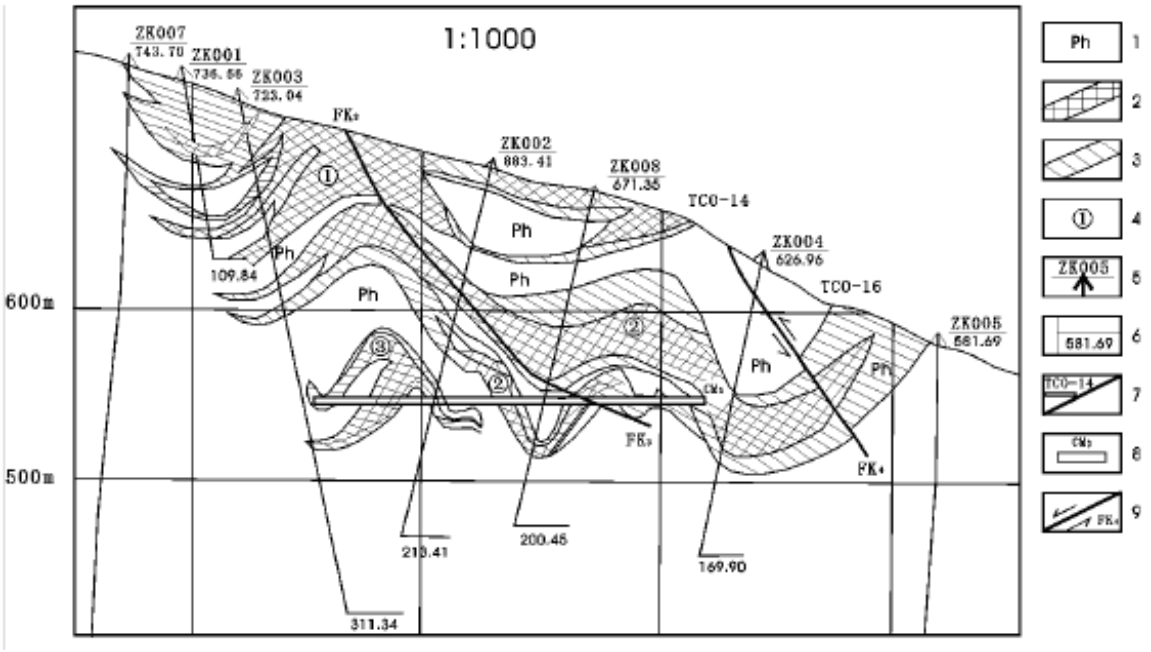
矿石矿物成分：黄铜矿、黄铁矿、磁黄铁矿、闪锌矿、硫镍钴矿为主，含方铅矿、毒砂、斑铜矿、辉铜矿、锐钛矿等。

脉石矿物以石英、绢云母为主，含绿泥石、角闪石、绿帘石、锆石、电气石等。

矿石结构有自形-半自形-它形柱状结构、显微球粒状结构、显微角砾状结构、交代结构、交代残余结构、包裹结构及碎裂结构等。

矿石构造以稀疏浸染状、浸染状构造为主，次为细脉浸染状、细脉及网脉状、

显微脉状及团块状构造。



1、千枚岩；2、钴富矿体；3、钴贫矿体；4、矿体编号；5、钻孔位置及编号

6、终孔孔深；7、探槽位置及编号；8、穿脉坑道位置及编号 9、断层编号及错动方向

图 5.4　大横路铜钴矿床 0 号勘探线剖面图

（据关键，2004）

5.3.3　矿床成因

大横路铜钴矿床成因类型，曾有学者进行过研究，大致有三种观点：沉积变质成因、海底喷流-热水沉积成因、沉积-变质-热液叠加成因[70-75]。

（1）含矿建造特征

①热水沉积岩

大横路铜钴矿的含矿岩系为大栗子组含碳绢云千枚岩，其原岩为深-次深海环境下形成的一套泥质沉积岩。矿区岩层普遍有绢云千枚岩与薄层石英岩互层存在，千枚岩与石英岩厚度为几个毫米。这些含硅质条带千枚岩应该是热水沉积活动的产物，存在热水沉积岩，矿区千枚岩普遍含有较高的碳质。

②岩石地球化学特征

a.岩石化学成分特征

含矿岩系以 Fe^{2+}高为特征，FeO 含量一般在 2.0%左右，最高达 7.12%，显示了

沉积成岩时的强还原环境。其形成环境相当于“准地槽”或“断裂地槽”环境，与原始沉积时的裂谷晚期环境相吻合。

b.微量元素特征

因为岩石变质程度较低，所以 Cu、Co、Ni、V、Ti 等微量元素的地球化学性质基本上代表了原始沉积物的地球化学性质。含矿千枚岩中部分微量元素含量如图 5.5，岩石不仅具有 Cu、Co、Ni、V 等元素的高丰度，同时这些元素之间也存在着明显的正相关关系。岩石中 B 的含量较高，平均值为 187×10^{-6}，说明岩层形成时有深源热液活动。

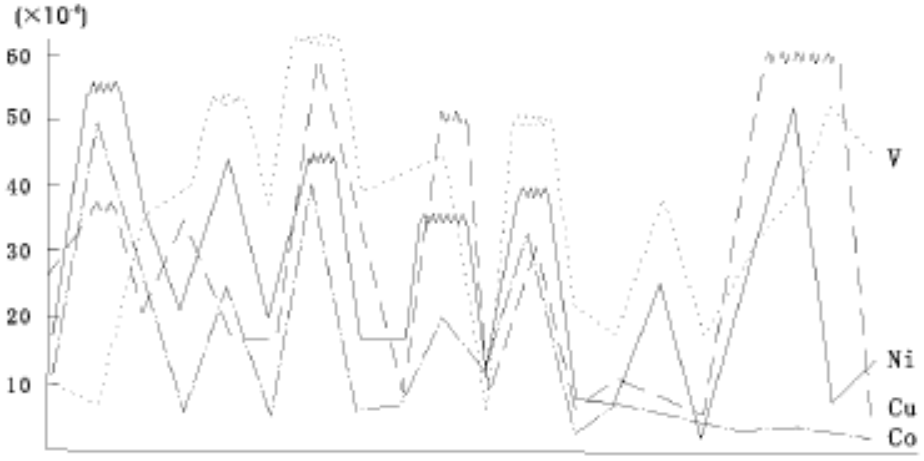


图 5.5　大栗子组岩石中微量元素 Cu、Co、Ni、V 含量变化相关曲线图

（据松权衡等，2000）

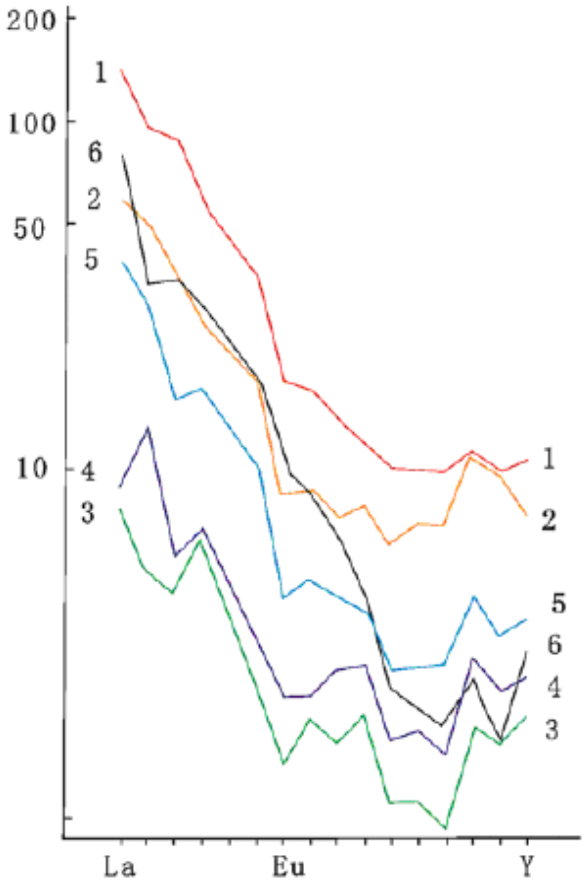
c.稀土元素特征

样品稀土配分曲线如图 5.6，图中 1、2 号样品为绢云千枚岩夹薄层石英岩，4、5 号为含矿石英脉，前者稀土总量为 225.97×10^{-6} 和 115.91×10^{-6}，后者为 28.8×10^{-6}、67.38×10^{-6}，有较大差别，泥质岩较高的∑REE 值是因为它在形成过程中对稀土元素有吸附作用。

③岩层变质作用及变质成矿

该套岩层无论是区域还是矿区内的变质程度均比较低。绢云千枚岩中，经变质作用硅质成分活化析出的石英脉基本单个出现，长度不大，多呈扁豆状；碳质条带较发育，但多呈沿片理方向拉伸的锯齿状；矿区含矿岩石的黄铜矿化多呈细粒浸染

状，极少数为无根的细脉状，脉宽仅 1～2mm，长 2～5mm，其它硫化物亦呈细粒浸染状[70]。



1、2 绢云千枚岩夹薄层石英岩；3、金属硫化物；
4、5 含矿石英脉；6、斜长花岗斑岩

图 5.6　大横路矿区岩（矿）石稀土配分曲线

（2）矿床成因类型

综合前述矿区地质特征、矿体特征、热水沉积岩、岩石地球化学特征、成矿元素的深源特性以及对变质成矿的分析等，认为矿床成因为热水沉积-变质变形热液型。

由于硅质岩呈细条带出现在岩层中，不具备典型热水沉积矿床中稳定的热水沉积岩层，所以该矿床形成时的热水沉积作用可能是间歇性的，成矿作用相对较弱，估计矿体主要是低品位的，经后期变质热液作用使原已初步富集的铜钴元素迁移富集成矿。

5.4 小结

通过典型矿床的研究，可以查明控制白山地区的金多金属的地质条件主要有：北西主断裂及北东向次级断裂控制。矿床（体）主要产在断裂带内。

组成矿石的金属矿物以黄铁矿为主，其次为多金属硫化物，非金属矿物有重晶石、白云石绿泥石等。其中主要矿物为石英、玉髓、白云石、重晶石、黄铁矿、白铁矿、赤铁矿、褐铁矿，其它矿物很少出现。

赋矿地层主要为老岭群青白口系的钓鱼台组、珍珠门组角岩夹薄层大理岩与厚层白云质大理岩接触带及珍珠门组大理岩与花山组片岩构造接触带、大栗子组含碳绢云千枚岩、含碳绢云千枚岩夹中薄层大理岩、石英岩、电英岩及黄铁绢云千枚岩建造。

围岩蚀变主要是硅化、绢云母化、黄铁矿化、绿泥石化、碳酸盐化、冰长石化、类矽卡岩化、赤铁矿化、黄铁矿化和重晶石化等。

第 6 章　成矿地质条件与找矿标志

成矿作用是地质作用的一部分，各种矿产均形成于特定的地质条件下。控制成矿的地质因素有构造、建造（地层、岩相、古地理）、岩浆活动和地球化学元素迁移等，它们在成矿过程中的作用虽各不相同，但相互联系、相互制约，一个矿床的形成往往是各种因素综合作用的结果。矿床的空间位置受其所在的大地构造单元背景所决定，岩浆活动改造的地层为矿床的形成提供有利成矿的物理化学空间环境；构造作用为矿床的形成提供必要的成矿物质迁移、运动和沉淀成矿的良好通道；岩浆活动为成矿提供必要的热液来源和主要的成矿物质[76]。

6.1　成矿条件分析

6.1.1　成矿与构造特征分析

研究表明，金矿与断裂构造关系密切。断裂构造对金矿的形成、分布和保留都起到了控制作用，而且还对与金矿有关的地层、岩浆岩等地质条件的分布起到控制作用，并通过这些条件控制金矿的成矿活动[77, 78]。因此断裂构造对金矿的控制作用既有直接的，也有间接的。

断裂构造对金、多金属矿化信息的空间分布存在密切关系（图 6.1）。控矿构造始终是金矿研究争论的焦点之一[79]，与以往研究不同的是本次解译的构造格架显示北西向构造控制金矿及金异常。

1、图 6.1 显示了断裂构造与已知矿床（点），与组合异常之间存在明显的空间相关性。相关性表现在已知金矿产地、元素组合的分布密度与断裂分布密度呈正相关性，矿化信息的成带分布与断裂的走向一致，呈北西向。如板石镇—临江市的北西向深大断裂控制了临江市附近的 3 处金矿床（点）以及板石镇 4 处铁矿床（点），其中包括一大型铁矿床，同时还控制了 4 处金异常区。

2、断裂构造是含矿热液运移的通道，也是成矿物质沉淀的空间。

这种控制作用是已知金矿产地沿北西向分布的重要原因。具有此种作用断裂是北西向和北东向断裂，以成带出现，延长远，下切深度大为基本特点。岩浆活动为

成矿提供了热源，在其作为流体沿断裂上移的过程中溶离了基底或围岩建造中的 Au、Pb、Zn、Sb 等成矿物质，迁移至有利空间卸载成矿（海沟金矿床、南岔金矿床、荒沟山金矿床、荒沟山铅锌矿床、青沟子锑矿床、郭家岭-矿硐子铅锌矿床等），或由岩浆热液交代围岩中有益组分富集成矿（大营铅锌矿床）。

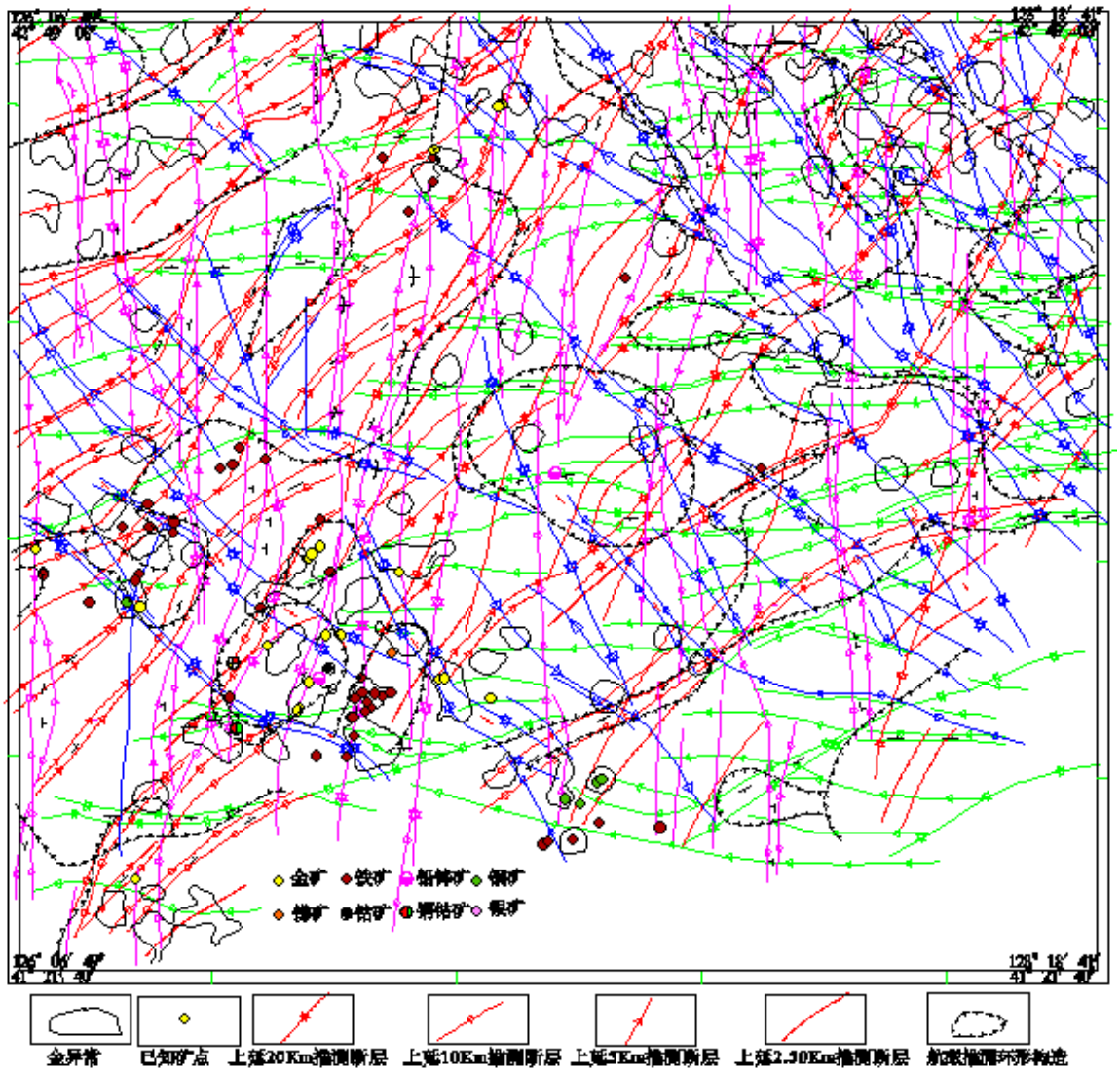


图 6.1　白山地区断裂构造与金矿化信息关系图

3、线性断裂构造的交汇处、线性与环性构造的交汇处以及线性断裂构造的拐弯部位，是金、多金属矿集中区，是矿产地的有利构造位置。如临江市大栗子镇矿化集中区处在北西向与南北向及东西向断裂的交汇部位。再如板石镇矿化集中区处在北西向与南北向及环性断裂的交汇部位。断裂交汇及附近是金矿成矿的有利构造，五道阳岔金矿、小石人金矿出现在北东与北西构造位置上。小四平金矿、错草

沟金矿出现在研究区内北东向断裂与近东西向断裂的交汇处。

4、断裂交汇处是金异常发生的有利构造部位，也控制了异常的形态和长轴的方向。如白山板石镇—临江六道沟镇异常带和靖宇那儿轰镇—抚松胜利农场异常带，异常走向均为北西，带内分别有 25 个异常区和 11 个异常区，且异常规模和强度大，浓集中心明显。

6.1.2 成矿与地层特征分析

一、老岭群珍珠门组

据临江铜山铜矿报告，老岭群珍珠门组大理岩是金、铜、铅、锌等赋矿层位，含 $Au1.49\times10^{-9}$、$Cu21.31\times10^{-6}$、$Pb22.85\times10^{-6}$、$Zn95.72\times10^{-6}$、$Mo0.37\times10^{-6}$、$Ag134.79\times10^{-9}$，铜山铜矿即赋存于珍珠门组的角岩夹薄层大理岩与厚层白云质大理岩接触部位。据荒沟山铅锌矿报告，在老三队-荒沟山-南岔一带为 Pb、Zn、Au、黄铁矿成矿带，珍珠门组下段富含 Au、Zn、Pb，并呈细粒层状或纹层状分布于地层中，构成初始矿源层，荒沟山一带铅锌矿床即产于薄层含泥砂质白云石大理岩与块状大理岩过渡带靠近块状大理岩一侧的条带状大理岩中。铅锌矿外围采集大理岩样品分析，铅平均含量为 88×10^{-6}，锌平均含量为 730×10^{-6}，均与克拉克值相当，高于同类大理岩值，表明大理岩中铅、锌的丰度值比较高[64]。据石家铺子金矿和南岔金矿报告，珍珠门组大理岩金丰度达 22.1×10^{-9}～41.6×10^{-9}[80]，荒沟山金矿外围大理岩为 8×10^{-9}，区域上珍珠门组大理岩含金（4.9～8）$\times10^{-9}$[81]。

以上数据表明，珍珠门组大理岩具有较高的 Au、Pb、Zn 丰度值，可以为成矿提供丰富的物源，加之大量的金矿和铅锌矿（包括朝鲜的检德和辽宁的青城子）均产在该层位内或与花山组片岩构造接触带附近，所以很多学者都认为这套大理岩是老岭地区及通化南部老岭群分布区金矿、铅锌矿床的矿源层[82-85]。

然而，关于珍珠门组大理岩中微量元素的含量[86]，取得的最新数据显示（表 6.1），金的含量仅为 0.7×10^{-9}～3.0×10^{-9}，铅为 1×10^{-6}～26.8×10^{-6}，锌为 6×10^{-6}～81×10^{-6}，似无法得出高丰度的结论。实际上，过去测得的荒沟山和南岔地层 $\delta^{34}S$ 分别为 14.84‰和 13.29‰，而荒沟山金矿矿体中硫化物的 $\delta^{34}S$ 值为 6.6‰，南岔金矿为-0.487‰，数据的差异显示矿体中 $\delta^{34}S$ 并非完全来自地层，而可能来自于深部。

表 6.1 老岭地区部分微量元素化学分析结果

样品编号	采样位置	岩性	Au	Ag	As	Hg	Bi	Sb	Cu	Pb	Zn	Co	Ni
HGSD1	荒沟山	大栗子组	4.60	0.054	75.1	0.055	0.9	19.7	21.2	5.1	65	7.8	14.1
HGSZH4	荒沟山	大栗子组	2.00	0.028	18.5	0.105	0.1	16.91	4	1.3	15	8.3	15
LTAr2	老秃顶子一带	大栗子组	2.70	0.046	23.2	0.024	0.22	1.77	15.5	7.6	95	37.2	62.3
LTAr3	老秃顶子一带	大栗子组	3.00	0.062	14.7	0.034	0.18	0.18	34	5.4	120	56.8	111.7
EDD1	二道阳岔	大栗子组片岩	1.10	0.071	3.6	0.028	0.36	0.86	21.4	10	69	10.9	28.1
EDD2	二道阳岔	大栗子组	1.40	0.022	5.7	0.024	0.4	0.86	26.9	13.6	43	16.9	38.9
EDD3	二道阳岔	大栗子组	1.40	0.003	1.9	0.028	0.45	0.63	28.5	22.4	52	17.8	40.5
ZHMD2	珍珠门组-新三队	大栗子组片岩	1.10	0.064	8.9	0.027	0.59	1.06	23.5	20.5	102	16.1	32.5
ZHMD3	珍珠门组-新三队	大栗子组	2.80	0.033	14.0	0.032	0.59	0.95	17	25.7	101	20.2	40.7
ZHMGD	珍珠门组-新三队	大栗子组	2.70	0.058	61.0	0.035	0.1	2.75	8.5	8.5	24	6.7	13
LSDD3	老三队	大栗子组片岩	1.50	0.025	8.7	0.026	0.4	0.58	14.2	23.6	113	21.8	43.4
LSDD4	老三队	大栗子组	1.80	0.017	17.8	0.015	0.82	0.34	5.9	34	64	20.1	45.1
LSDD5	老三队	大栗子组	2.30	0.037	1.4	0.02	1.28	0.46	27.2	24	70	20	38.3
LSDD9	老三队	大栗子组	1.90	0.047	4.6	0.032	0.86	0.5	60.9	26.6	65	20.8	50.6
SHGD2	石灰沟	大栗子组片岩	5.60	0.113	6.8	0.019	1.01	0.57	23.5	18.1	90	19.9	39.4
SHGD8	石灰沟	大栗子组片岩	6.10	0.066	43.7	0.025	0.39	1.88	14.1	9.6	54	21.3	35.5
LJLJ2	临江市	临江组片岩	2.50	0.063	0.7	0.019	0.78	0.36	20.9	21.3	75	9.2	1407
SHGZ2	石灰沟	临江组片岩	1.10	0.029	8.6	0.031	0.10	0.58	4.3	1.0	12	6.9	13.7
SL2	三公里	临江组片岩	1.30	0.145	140	0.019	0.72	1.09	38.6	19.7	85	20.1	32.5
SL3	三公里	临江组片岩	1.90	0.075	9.3	0.022	0.38	0.31	30.2	22.4	59	7.8	17.4
SL4	三公里	临江组片岩	1.20	0.022	1.5	0.024	0.68	0.26	38	13.7	85	11.2	20.9
EDZ1	二道阳岔	珍珠门组大理岩	3.00	0.209	24.1	0.027	0.18	1.15	12.8	3.4	20	7.1	15.1
EDZ2	二道阳岔	珍珠门组大理岩	1.50	0.012	49.9	0.046	0.1	1.01	3.9	1	19	7.8	16.2
SPHZ1	三棚湖	珍珠门组大理岩	1.00	0.028	3.7	0.024	0.1	0.51	4.5	6.1	11	5.3	11.9
SPHZ2	三棚湖	珍珠门组大理岩	0.70	0.015	2.2	0.014	0.1	0.58	3	4.1	6	5.6	11.3
ZHMZ1	珍珠门组-新三队	蚀变大理岩	2.20	0.047	15.8	0.04	0.23	0.91	3.4	9.5	57	6	12.1
ZHMZ2	珍珠门组-新三队	蚀变大理岩	3.00	0.233	5.3	0.04	0.1	1.05	4	69.8	209	5.3	10.8
LLCZH1	老岭村-老三队	珍珠门组大理岩	0.90	0.017	3.1	0.007	0.1	0.55	3.7	1.0	9	6.6	13
LLCZH2	老岭村-老三队	珍珠门组大理岩	1.70	0.019	15.9	0.01	0.1	0.61	3.5	1.1	17	7	14.5
ZMD4	老岭村-老三队	珍珠门组大理岩	1.70	0.044	13.8	0.018	1.02	0.45	13	23.5	81	16.3	27.4
LSDZ1	老三队	珍珠门组大理岩	0.90	0.025	5.6	0.024	0.1	0.55	1.8	26.8	33	6.9	15.3
LSDZ2	老三队	珍珠门组大理岩	0.70	0.021	1.7	0.019	0.1	0.35	3.3	12.2	23	6.8	14.2
LSDZ4	老三队	珍珠门组大理岩	0.70	0.08	4.3	0.015	0.1	0.7	3.9	11.4	33	6.2	15.1
LTR3	老秃顶子	黑云母花岗岩	1.50	0.037	7.0	0.022	0.14	0.77	4.2	11.1	62	7.5	7.5
MYH	蚂蚁河岩体	花岗岩	2.40	0.265	3.6	0.023	0.35	0.43	7.2	98.2	70	7.2	13
DQZAR	大青沟	太古宙岩石	1.90	0.027	11.6	0.029	0.1	3.1	6.4	8.9	32	8.4	12.7
TAR1	老秃顶子一带	奥长花岗岩	3.20	0.055	19.6	0.025	0.21	2.32	114.6	4.1	78	30.6	91.52
TQAR1	珍珠门组-新三队	太古宙岩石	2.50	0.192	3.3	0.016	0.15	0.49	87	16.1	111	31.3	43.3
SA2	三道沟	太古宙岩石	1.20	0.03	6.2	0.021	0.13	0.56	13.2	21.3	54	12.5	20.6
SA6	三道沟	太古宙岩石	30.0	0.081	8.0	0.029	0.17	0.75	9.7	11.8	42	13.2	20.5

注： Au×10^{-9}，其他×10^{-6}。据吕贻峰等（2003）

故而，我们认为，就珍珠门组大理岩而言，其作为铅锌矿的矿源层或提供部分物源，已具备较充分的证据，但其作为金矿的唯一矿源则有待商榷，该区金成矿应为多源的，推测有深源成分加入。

二、老岭群大栗子组

该岩组上部产有大栗子式铁矿，上世纪九十年代，又在其下部层位发现了大横路大型铜钴矿床，目前已得到越来越多地学工作者的研究和重视。

微量元素分析结果表明，大栗子组下部层位 Co、Cu 含量一般高于克拉克值的 2～4 倍，其中赋存铜钴矿体的含碳绢云千枚岩高出克拉克值的 4～20 倍，呈现明显的高丰度，具初始矿源层特征[86-88]。在研究钴的来源和矿床成因时，发现了典型的热水沉积岩—电气石石英岩，铜钴矿体赋存于绢云千枚岩、含碳绢云千枚岩夹中薄层大理岩、石英岩、电英岩及黄铁绢云千枚岩建造中，其原岩为富硼（50×10^{-6}～300×10^{-6}）、碳（300×10^{-6}～2100×10^{-6}）的粘土-半粘土岩夹硅质岩建造，经岩石矿物学、稳定同位素、稀土元素及流体包裹体研究，成矿属海底热水喷流沉积叠加改造成因。

铜钴矿体的产状与地层产状的一致性，在矿区呈同步褶皱形态，且与围岩呈渐变关系，说明其具有“沉积”成矿的特点。钴与铬、镍、铂、钯等元素有着相同的深部富集特点，其地壳丰度 25×10^{-6}，上地幔丰度 160×10^{-6}[89]，这一特点决定它必须通过深源流体才能运移到地表。老岭地区在元古宙末期处于稳定的冒地槽沉积环境，没有任何岩浆活动，在此情况下是热水喷流作用把成矿物质由深部，可能是太古宙基底岩系或更深源，带入海底沉积，又通过加热海水的淋滤作用使之富集成矿。所测得老岭太古宙岩石 Co 平均含量 21.9×10^{-6}（4 个样品），相比珍珠门组大理岩平均值 7.2×10^{-6}（12 个样品），其它花岗岩类平均值 7.4×10^{-6}（2 个样品）要高出两倍[86]。前人所测太古宙变质上壳岩 Co 含量在 9.4×10^{-6}～36.1×10^{-6} 间，具有明显的高丰度[90]。沈保丰等测得的太古宙花岗质岩石深源包体、上壳岩包体、深源基性岩包体中 Co 含量在 27×10^{-6}～54.23×10^{-6} 间，同样支持钴的深源观点[91]。

岩层有利的理化性质易于成矿。区内珍珠门组大理岩所具有的易产生脆性断裂、层间破碎等构造形式，为老岭成矿带的金矿和铅锌矿提供了容矿空间，其所具有的化学活泼性，易于发生交代作用，形成了一些矽卡岩型铜铅锌矿床。

6.1.3 侵入岩与成矿

研究区中沿江活动以太古代和燕山期最为强烈，形成太古代块状岩石和侵入杂岩体[92-94]。

一、太古代岩浆活动形成的块状岩石为金矿成矿活动提供了部分成矿物质。区域上的1∶20万和1∶5万矿产调查都指出Au、Ag、Cu、Zn、Ni等元素含量较高[95]，其浓集系数都大于1，为富集型元素，这意味着在成矿作用发生时，在深度、压力、溶液等条件发生改变时，岩石中的Au及伴生元素可以进入成矿热液而参与金矿的成矿活动，成为成矿物质的供应者。

二、燕山期侵入岩浆成矿作用

燕山期岩浆侵入活动与内生金属矿床成矿有密切关系，区内大多数与岩浆有关的矿床，其成矿作用在为成矿提供热液和物源 [96]。

1、岩浆为矿床形成提供热源

任何内生金属矿产，均是在一定的高温下形成的，岩浆上侵过程中，与周围介质间形成的强大温差，不但为深部流体的上升提供了动力，而且相当大区域内的温度升高，使围岩的物理性质改变的同时，也使成矿必须的水岩反映得以进行。事实上，与岩浆活动有成因联系的金属矿床均有岩浆热在起作用，区内大部分金、有色金属矿床都是岩浆提供热源。

2、岩浆提供物源

区内岩浆本身携带成矿物质为成矿提供物源的矿床有金、铜、钼等矿床，金矿床产于酸性岩体内，铜、钼矿床则与中—酸性岩有关，岩体多以次火山岩相产出，以零星分布小岩株为主。如产于天合兴石英斑岩中的斑岩型铜矿，产于石英闪长岩与大理岩接触带的临江铜山铜矿床等。采自小石人矿区的石英斑岩岩石样品的微量元素测试结构显示岩石中Au的平均含量为20×10^{-9}，是地壳丰度值的50倍，为特征富集型元素，表明岩浆中Au是丰富的。侵入活动不仅为成矿活动提供热源，也为成矿活动提供成矿物质。

6.2 找矿标志

通过对成矿条件及典型矿床的综合分析，现从地质、地球物理、地球化学等三

方面综合描述出本区金、多金属成矿特征及找矿标志。具体如下：

6.2.1 地质标志

构造标志：断裂构造是白山地区金矿成矿的重要条件，尤其是航磁数据解释反演出的深部断裂，对本区构造控矿提供的佐证尤为明显。矿化期内的断裂构造活动频繁，三级断裂构造控制了金矿脉的产出。断裂构造中的减压空间，压扭性断裂中的局部张扭性带和碎裂带、构造交切复合部位，构造与各类地质界面交切复合部位、次级张裂隙等控制矿体的产状、形态和规模。断裂活动产生的次级北东与北西或东西向构造交叉部位控矿。

空间形态标志：从航磁不同上延高度的构造解释中发现，在断裂构造的拐弯部位、多条断裂密集带、断裂破碎带由窄变宽部位、分枝复合部位、沿走向倾向变化部位、主断裂与分支断裂交汇部位、多组断裂交汇部位均为成矿的开阔空间，为成矿提供了基本的空间条件，对相对封闭环境内的成矿条件下，形成成矿动力低压区，成矿热液最易在这种空间富集，形成工业品位的矿体。

老地层标志：

老岭群青白口系的钓鱼台组，颜色为褐红—紫红色—赤红—紫灰色；蚀变为强硅化、褐铁矿化和重晶石化发育，裂隙、孔穴、晶洞发育的强硅化构造角砾岩带。

老岭群珍珠门组角岩夹薄层大理岩与厚层白云质大理岩接触带及珍珠门组大理岩与花山组片岩构造接触带附近，该组含 $Au1.49\times10^{-9}$、$Cu21.31\times10^{-6}$、$Pb22.85\times10^{-6}$、$Zn95.72\times10^{-6}$、$Mo0.37\times10^{-6}$、$Ag134.79\times10^{-9}$，具有较高的丰度值。

老岭群大栗子组含碳绢云千枚岩、含碳绢云千枚岩夹中薄层大理岩、石英岩、电英岩及黄铁绢云千枚岩建造中赋存矿体。

岩浆岩标志：太古代岩浆活动形成的块状岩石 Au、Ag、Cu、Zn、Ni 等元素含量较高。燕山期岩浆侵入活动与内生金属矿床成矿有密切关系，侵入深度中深到浅，类型有：似斑状黑云母花岗岩，石英斑岩、闪长岩、闪长玢岩、石英闪长玢岩、闪长细晶岩、辉绿岩及云斜煌斑岩为主。

围岩蚀变标志：

①金矿床：硅化、绢云母化、黄铁矿化、绿泥石化、碳酸盐化、冰长石化、类矽卡岩化、赤铁矿化、黄铁矿化和重晶石化等。

②铜铅锌锑矿床：黄铁矿化、硅化、碳酸盐化、绿泥石化、黑云母化、绿帘石化、绢云母化、电气石化、高岭土化、青磐岩化、矽卡岩化等。

矿石类型：黄铜矿、黄铁矿、磁黄铁矿、闪锌矿、硫镍钴矿为主。

6.2.2 地球物理场标志

航磁标志：矿带及矿床的磁场特征一般显示为正负场交界。矿床多位于正异常临近的零星负磁异常分布区内。负磁异常区域磁异常显示，矿床多位于正异常临近的零星负磁异常分布区内。负磁异常为矿及围岩的反映，而正磁异常多为基性火山岩的反映。

重力场标志：据该区以往重力资料分析，该区重力异常线性梯级带或变异带，常常指示断裂构造的存在，这些断裂往往是控矿断裂，有些较大岩体也能引起局部重力高值异常，但具一定强度的正磁异常（也可出现正、负共轭异常）更能准确地反映岩体的存在。

地表异常特征：矿体具极高密度、弱磁性，中高极化。地表异常具一定规模，位于埋深不大的矿体上。有明显的重力（高）异常，有的出现局部弱磁异常，视极化率异常较明显。

6.2.3 地球化学标志

白山地区金矿地质工作程度相对较低，大规模的矿床只是近几年的发现。根据该区目前掌握的金矿地球化学资料，该区按金矿类型划分为几种地球化学元素型：

（1）“荒沟山式”热液型金矿床地球化学异常组合为 Au、Ag、As、Sb、Hg 等元素。

（2）“金英金矿”中生代造山型金矿地球化学异常组合为 Au、Ag（Cu、Pb、Zn）As、Sb、Hg、V、Mo、Co、Ni 的 12 种元素，其中 As、Sb、Hg 、V 为矿体的前缘晕。地表原生晕显示两组地球化学异常组合：一组是 Cu、Pb、Zn、Sn、Mo 等多金属元素，多出现在片岩或脉岩中；另一组是 Au、Ag、As、Sb、Hg 组合，在靠近断裂大理岩一侧强烈富集。

（3）热液多金属矿床的地球化学异常元素组合为 Cu、Pb、Zn、As、Cd、Sb、Hg 等，热水沉积铜钴矿床为 Cu、Co、Ni、Pb、Zn、Mo、Bi 等元素。

第 7 章 统计单元的划分及地质变量研究

7.1 统计单元的划分

矿床统计预测单元的划分是矿产资源评价过程中最关键的一个环节，其目的是为了确定地质变量的观测尺度和取值范围，提高评价结果的准确性，而单元类型和大小，尤如样品采集和分析那样，其取样方法及大小不同，获得的结果对地质现象描述的精确程度也不同，从而直接影响资源评价的效果。预测单元划分的太小，则明显地扩大了无矿单元和单一控矿单元的数目，增加了预测的工作量，不利于资源评价模型的建立，而预测单元划分的太大，则歪曲了实际有矿单元的分布形态，使误判有矿的地区面积增大，不利于找矿工作的进行，并使预测靶区的可信度降低。因此，如何确定最佳预测单元，并不是一件轻而易举的事，它必须结合实际资料和采用的评价模型，选择合理的单元划分方法[97]。

7.1.1 地质体单元的概念及划分原则

一、基本概念

地质体单元法是用对预测矿种或矿床成矿系列具有明显控制作用的地质条件和找矿意义明确的标志圈定各级统计单元的方法。该方法由王世称教授等提出，并应用于镍矿、铁矿、铌钽矿、萤石矿、金矿及多金属矿化系列等矿产资源评价工作中[98，99]。

地质体单元法的提出是基于这样的认识：①矿体、矿床、矿田和矿床密集区是天然有形的特殊地质体；②地质体单元的形成受成矿、控矿地质条件的限制；③地质体单元的存在可以以不同的方式反映出来；④成矿、控矿地质条件是可以认识的，其反映的标志也是可以认识的。

二、划分原则

在矿产资源评价中，客观地划分地质体单元需要按照综合信息找矿模型的特点，确定预测矿种的必要条件和有利标志，根据成矿的必要条件组合确定统计单元的定义域和边界条件。

（1）按综合信息找矿模型的地质特征划分单元矿产资源评价的地质体单元划分方法主要取决于综合信息找矿模型的特点[4][25]。在综合信息找矿模型中，有两种找矿标志，一种是成矿的必要条件，另一种是成矿有利（或不利）标志。地质统计单元的划分以成矿的必要条件为基础，并以成矿有利（或不利）标志为补充。如果待评价的矿产资源主要来自岩浆矿床，由于岩浆矿床多以岩体成矿专属性特征为主要控矿因素，若这类矿床的围岩即是成矿母岩而矿床的矿体很少产于岩体以外的围岩中时，一般选择岩体为单元；如果待评价的矿产资源主要来自热液矿床，由于热液矿床主要受成矿时构造控制，一般可按不同级次构造对矿体、矿床、矿田的控制作用进行单元划分；如果待评价矿产资源主要来自层控矿床，由于地层及其岩性组合是层控矿床的主要控矿因素，可根据有利层位及其构造的控制作用进行单元划分[100-102]。

(2)确定统计单元的定义域及其边界条件

地质体单元必须有明确的边界条件来确定单元的定义域。单元的定义域，是地质体单元存在性控制条件所围成的范围。一般来讲，确定单元定义域是一项比较复杂的工作。通常从已知矿体、矿床、矿田及矿床密集区的边界条件分析入手，研究不同类型矿床综合信息找矿模型的找矿标志，并分析哪些标志是决定矿床、矿田和矿床密集区存在性的因素，哪些标志是决定矿床、矿田和矿床密集区的成矿及伴生元素的富集因素。前者称为确定性地质条件，而后者称为统计性地质变量。地质体单元的边界条件是根据确定性地质条件组合圈定的。

7.1.2 研究区地质单元划分的信息组合

研究区内某一位置是否是成矿有利地段能否被视为成矿单元，取决于该位置具

备成矿的必要条件，而不是充分条件。根据前述的金、多金属控矿条件将统计单元的位置组合信息定为：

1、前寒武纪变质岩系出露基底和隐伏基底；

2、不同时期、不同阶段、富金花岗质岩体及接触带的金元素组合异常环形分带；

3、不同大地构造单元接触的界面；

4、不同等级的反序构造及其交汇部位；

5、反序导矿构造及其相关联的环形化探异常；

6、反序导矿构造及其相关联的线形化探异常；

7、航磁异常的环形、线形梯度带及其反序构造；

8、航磁场中的正的叠加异常，异常与出露的侵入岩体同处在一个构造岩体带中。

9、环形、线形地球化学叠加异常；

10、环形、线形地球化学反序异常；

11、已知矿床、矿点集中分布；

12、金、多金属元素异常集中分布。

7.1.3 研究区统计单元的划分

鉴于本次研究目的，单元的圈定采用地质单元法，这种方法从理论体系上尊重客观的地质规律和找矿模型，满足统计方法的重要条件，在进行地质矿产定量类比等方面具有突出的特点。根据上述12个综合信息找矿标志中的6个以上标志圈定统计单元。此次研究区共圈定单元48个，其中选择的已知单元11个，预测单元37个（图7.1）。

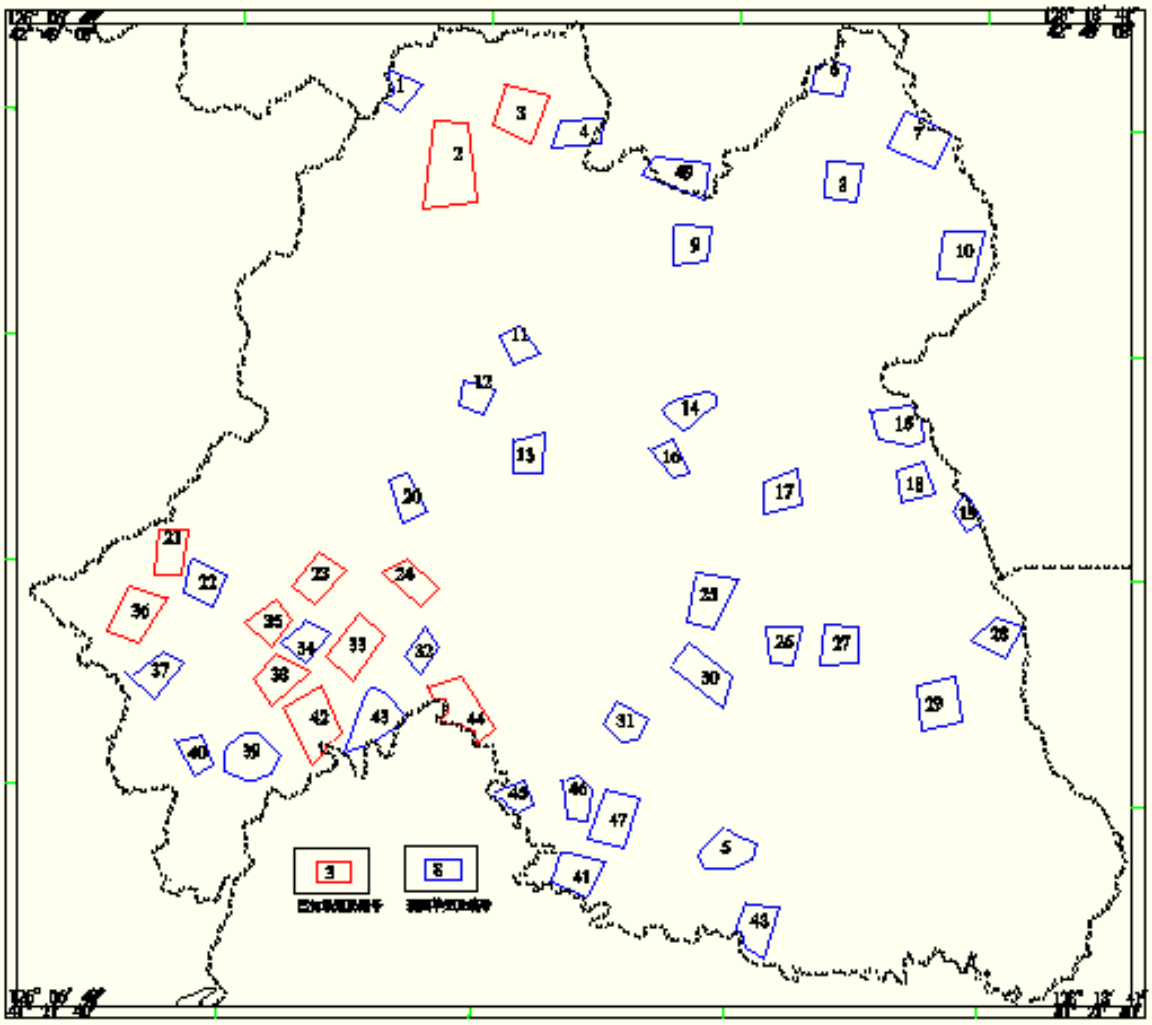


图7.1　研究区统计单元分布图

7.2　地质变量研究

一般把地质标志或地质现象随着空间位置、时间的改变而取不同数值的量，称为地质变量。

地质变量是地质体空间关系的特征反映。地质变量的内容是有结构性、叠加性、统计性及随机性特点。由于着眼于矿产资源预测研究，地质变量的目标关联性也十分明显。由于空间关系复杂、地质变量常以组合形式与所研究问题相关联，因此，变量的组合形式常影响到预测模型的精度。地质变量的组合内容及关系不可忽视，为此，本文参照前人的变量构造原则与成矿模型的内涵，充分考虑变量的空间关系，提出四个提取原则：

1、不同级别的预测目标允许同一级别或不同级别变量进行有机组合。以往的观点一般认为同一级别的预测目标仅与该级别的变量组合相对应。

2、不同级别变量构造同一组合相当于变量的母系与子系关系或首属关系。这种新型的地质变量构合关系意味着变量组合具有错综复杂的空间关系。

3、提取的地质变量必须具有普适性与关联性，变量组合在空间关系上或是在数字关联上均与预测目标具有最佳的联接性。

4、考虑到变量的空间关系，地质变量组合应尽可能反映三维信息，因此尽可能将区域性的、地球物理的、地球化学的变量变量进行有机关联，使之反映地质体的不同侧面地学信息。

矿产资源定位与定量预测的实质，是用数学方法研究、解决成矿预测问题。解决问题的途径是变地质问题为数学问题。这种改变是把地质标志或地质现象都视为地质变量，寻求地质变量之间的内在关系，并用一定的数学公式去描述、刻画变量之间的关系。最后通过数学关系的分析研究，解决地质问题。因此变量研究包括提取、优化、赋值等重要内容，它会对预测结果产生直接影响。

7.2.1 变量的提取

变量的提取是在研究区内所收集的文字资料、图件、数据等方面为基础，根据成矿规律、控矿条件、找矿模型等正确认识的前提下，选择同一尺度能够刻划预测单元成矿有利信息的变量。通过对预测单元的变量提取，进行变量的选择、赋值、优化等。

以预测单元为因变量，通过因变量提取不同时期侵入的岩浆岩岩性、不同岩性的空间分布、岩浆岩与地层的接触特点；不同地层单元、岩性；不同方向的断裂构造、断裂构造的走向变化、倾向变化特点；断裂的空间分布，断裂的性质、变化；脉岩岩性、脉岩发育程度、脉岩空间特征；蚀变类型；已知矿床数、矿床规模；金异常强度、组合异常类型；重力场强度、梯度带；磁场变化特征等自变量，通过以上各类信息提取预测单元的变量（表7.1）。

表7.1　变量提取分类表

项目	变量分类	项目	变量分类
地质	岩浆岩岩性	地球化学	金异常强度
	地层单元		组合异常类型
	构造产状变化	地球物理	重力场特征
	断裂性质		磁场特征
	脉岩岩性	其它	岩体与岩体空间位置
	蚀变类型		断裂发育空间位置
	已知矿床(点)规模		脉岩发育程度
			脉岩空间位置

7.2.2　变量的选择

在预测单元变量提取的基础上进行变量的选择，能够反映与研究区金矿成因关系密切的地质变量、地球化学变量以及地球物理变量。

一、地质变量选择

1、构造变量：变量选择依据主要与金矿具有成因关系较为密切的断裂构造，断裂构造在空间上的形态特征、断裂性质、产状变化等方面，显示在金矿形成过程中具有明显的控矿、容矿特点，变量选则如表7.2显示：

表7.2　航磁解译断裂构造变量表

序号	变量代码	变量名称	序号	变量代码	变量名称
1	GZnw20	磁场上延 20km NW 方向	13	GZew20	磁场上延 20 km EW 方向
2	GZnw10	磁场上延 10km NW 方向	14	GZew10	磁场上延 10km EW 方向
3	GZnw5	磁场上延 5 km NW 方向	15	GZew5	磁场上延 5 km EW 方向
4	GZnw2.5	磁场上延 2.5 km NW 方向	16	GZew2.5	磁场上延 2.5 km EW 方向
5	GZne20	磁场上延 20 km NE 方向	17	GZjq20	航磁上延 20km 与二导 0 值线交切
6	GZne10	磁场上延 10 km NE 方向	18	GZjq10	航磁上延 10km 与二导 0 值线交切
7	GZne5	磁场上延 5 km NE 方向	19	GZjq5	航磁上延 5km 与二导 0 值线交切
8	GZne2.5	磁场上延 2.5km NE 方向	20	GZjq2.5	航磁上延 2.5Km 与二导 0 值线交切
9	GZns20	磁场上延 20 km NS 方向	21	GZzx	构造走向变化部位
10	GZns10	磁场上延 10 km NS 方向	22	GZqx	构造倾向变化部位
11	GZns5	磁场上延 5 km NS 方向	23	GZfy	构造发育
12	GZns2.5	磁场上延 2.5 km NS 方向	24	GZjx	构造交汇部位

2、地层变量：

研究区内金成矿带元素分带的控制因素受岩体控制，同时基底对元素分布的控制也是不可忽视的因素。金成矿带金、铜元素分带同基底边缘控制有关，一般在岩体内的基底范围发育。变量选择见表 7.3。

表7.3　地层接触关系变量标志

序号	变量代码	变量名称
1	Dcjdj	航磁上延 20 km 二导 0 值线与老基底交切
2	DCgsjj	航磁上延 10 km 二导 0 值线与古生界交切
3	DCjlj	航磁上延 5 km 二导 0 值线与侏罗火山盆地交切
4	DCgcj	航磁上延 2.5km 二导 0 值线与全部盖层交切
5	DCqj	航磁上延各高度二导 0 值线交汇

3、岩浆岩变量：研究区内的金矿床与岩浆岩关系密切，岩浆作用为金矿的形成提供了热动力来源，也为金矿活化、迁移等提供了载体的作用。岩浆岩变量见表 7.4。

表7.4　岩浆岩变量表

序号	变量代码	变量
1	YJYjl	中晚侏罗世晚期花岗岩
2	YJYyg	下元古代片麻状花岗岩
3	YJYbe	早白垩世花岗斑岩
4	YJYzl	中侏罗世早期石英闪长岩
5	YJYlw	流纹斑岩、石英斑岩

4、围岩蚀变变量：金矿多产在蚀变破碎带内，硅化、绢云母化和黄铁矿化作用与金矿化关系密切。因此，围岩蚀变作用是指示金矿化的重要变量（表7.5）。

表7.5　围岩蚀变变量表

序号	变量代码	变量	序号	变量代码	变量
1	SBgh	硅化	6	SBxky	矽卡岩化
2	SBlns	绿泥石化	7	SBdly	大理岩化
3	SBhtk	褐铁矿化	8	SBtsy	碳酸盐化
4	SBjym	绢云母化	9	SBzjs	重晶石化
5	SBhtk	黄铁矿化	10	SBjy	角岩化

5、脉岩变量：白山地区大部分金矿床内均有脉岩分布，脉岩与金矿物质来源成因上为同源关系，脉岩岩性也多以基性—超基性脉岩为主（表7.6）

表7.6 脉岩变量表

序号	变量代码	变量	序号	变量代码	变量
1	MYq	石英脉	6	MYλμ	石英闪长斑岩
2	MYρ	伟晶岩	7	MYκπ	霞石正长斑岩
3	MYδμ	闪长斑岩	8	MYλπ	石英斑岩
4	MYν	煌斑岩	9	MYδ	细晶闪长岩
5	MYβμ	辉绿岩脉			

6、已知矿床规模变量：对预测单元内分布的已知矿床（点）的规模进行统计，提取出已知矿床（点）的规模信息（表7.7）。

表 7.7 已知矿床（点）变量表

序号	变量代号	变量
1	KDzx	中型
2	KDxx	小型
3	KDkd	矿点

7、其它信息变量：根据成矿条件的研究，白山地区金、多金属矿床的形成主要与燕山期岩浆岩、构造有关，不同岩性岩浆岩的接触部位、岩体内部的断裂构造、破碎蚀变代均是金矿成矿的有利空间（表 7.8）。

表 7.8 其它信息变量表

序号	变量代码	变量	序号	变量代码	变量
1	QTytjh	岩体与构造交汇部位	4	QTpsd	破碎蚀变带
2	QTytnb	岩体内部断裂	5	QTju	岩体与地层接触
3	QTmyfy	脉岩发育			

二、地球化学变量选择

地球化学信息是成矿预测的重要信息，反映在区域中金元素及其它微量元素的空间变化特征的描述。白山地区与岩浆岩有关的金矿床，矿物组成中成矿元素与伴生元素具有较高的含量，矿石与围岩、背景中Au、Ag、Cu、Pb、Zn 等元素含量差

异明显，能够形成容易识别的异常，可作为地球化学变量选择的依据。地球化学变量列于表7.9 中。

表7.9 地球化学异常变量表

序号	变量代码	变量	序号	变量代码	变量
1	DHjq	金强异常	5	DHzh3	Au\Co\Ni
2	DHjr	金弱异常	6	DHzh4	Au\Co\Ni\Cu\pb
3	DHzh1	Au\Co	7	DHzh5	Au\ Cu\pb\zn
4	DHzh2	Au\Ni	8	DHzh6	Cu\pb\zn

三、地球物理变量选择

白山地区金矿形成主要与花岗岩侵入体在空间上的分布有关，而花岗岩在物性上又与地层有明显的差异，地球物理变量的选择反映出找矿条件较好的空间特征。地球物理变量列于表7.10 中。

表7.10　磁场特征变量表

序号	变量代码	变量
1	HCz	航磁正场
2	HCf	航磁负场
3	HCty	航磁跳跃场
4	HCtdd	化极原平面等值线梯度带

7.2.3　变量的赋值

在信息转化过程中，原始资料中所提取的变量有些是以文字性的描述、记录和说明的定性变量，没有数据的概念，不能直接进行信息的加工、处理，需要将这些定性描述转化为可以进行信息处理的数字模式，并且保留这些变量与成矿作用之间的信息[103]。

根据本次所应用的数学方法需要，将提取的变量进行二态赋值，即

$$Xij=\begin{cases}1，\ 第i个单元在第j号变量上有反应\\0，\ 第j个单元在第j号变量上无反应\end{cases}$$

其中X_{ij} 表示第i 个单元在第j 号变量上的取值（i=1,2…n; j=1,2,…n）。根据此方法完成信息的转换，从每个单元到每个变量上的转换结果可以了解到变量的某些

基本特征，既反映某一变量在不同单元上的取值的变化性，又反映出所有变量在同一单元上取值所显示变量的组合特征。

根据以上原则，变量赋值结果见表7.11

7.2.4 变量的优化

每种变量对成矿作用的重要性是不一样的，变量作用的大小可以用变量权的绝对值来衡量，绝对值越大的变量说明对模型特征的作用也越大。我们希望仅保留那些重要的变量，剔除无用的变量，同时在不损失更多信息的条件下使预测工作量得以减小，也在一定程度上避免由于预测区工作程度低造成的困难。因此，需要对变量进行优化，目的是从原始变量中选择出与成矿作用关系密切的重要变量，对已经定量的数据进行适当优化，用重要的变量建立较佳的简化模型进行预测研究。

依据调查区域内矿产类型的特点，预测矿种确定为金。目前资料水平和评价尺度决定此次评价以远景区成矿概率为主，所以变量优化使用特征分析中的矢量长度法[29] [104]。在进行任何一项处理前都需要对单元变量进行筛选，删除每个单元上全都没有反应、全有反应的和重复变量，这类变量在计算过程中属于无效变量。优化过程主要分为以下几个步骤：

1、已知单元选择：根据本次研究的目的，在圈定的预测区内选择出含有不同规模金矿床（点）的已知单元，对单元中的变量进行筛选，保留有效变量，剔除无效变量，挑选后的结果见表7.12。

2、已知单元变量选择：通过对已知单元变量的研究，确定单元中变量对成矿作用的重要性，并运用到预测单元中进行单元的划分。预测单元的划分是在以已知单元成矿可能性的分级条件下进行的。

（1）已知单元变量权计算

单元的变量权是用某种计算方法对变量的重要性进行度量，并给出指标性的量化数据。此次研究采用特征分析乘积矩阵矢量长度法求变量权，其数学模型为[105]：

$$a_i = \sqrt{\sum_{j=1}^{m} r_{ij}} \ (i = 1, 2 \ldots m)$$

其中：

$$r_{ij}=\sum_{k=1}^{m}x_{ki}x_{kj}=x_{1i}x_{1j}+x_{2i}x_{2j}+\cdots+x_{ni}x_{nj}$$
$$(i=1,2...n;\ j=1,2...n)$$

函数中r_{ij} 为变量的匹配数，是第i 个变量与第j 个变量对应的元素乘积之和，m 为变量数，n 为单元数。根据对已知单元进行特征分析计算，获得对成矿有利的重要变量的变量权。

根据变量计算的权系数空间关系选择重要变量，在选择变量过程中，以变量的空间关系具有明显的变化为标准进行选择（图7.2），显示出变量对成矿作用的重要程度是不同的，共挑选出33个变量，选择结果见表7.13。

优选出变量来源于地、物、化三个方面，地质类中保留多为控矿条件，如航磁解译NW向深大断裂、构造交汇处、岩体与构造交汇、与金套和好的元素组合亦在保留之列。表明计算与成矿条件分析相吻合，结果合理

3、预测单元变量选择：在已知单元变量优化的基础上，对研究区内预测单元的变量进行优化，选择后的变量作为定位以及定量预测研究的原始变量表，结果见表7.14。

表7.11　变量初始赋值表

序号	变量符号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48
1	GZnw20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0	1	0	1	0	0	1	1	0	0	0	1	0	1	1	1	1	0	1	0	0	1	1	1	1	1	0	0
2	GZnw10	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0
3	GZnw5	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	GZnw2.5	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
5	GZne20	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	GZne10	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0
7	GZne5	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0
8	GZne2.5	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0
9	GZns20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0
10	GZns10	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
11	GZns5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
12	GZns2.5	0	1	1	0	1	1	1	0	1	1	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
13	GZew20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	GZew10	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0
15	GZew5	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1	0
16	GZew2.5	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0
17	GZzx	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	GZqx	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	GZfy	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
20	GZjx	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
21	DHzh1	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1
22	DHzh2	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	1	1	0	1	0	1	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
23	DHzh3	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	DHzh4	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25	DHzh5	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	0	0	1	10
26	DHzh6	0	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0	1	10
27	DHjq	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	0	1	1	0	0	0	00

续表 表7.11 变量初始赋值表

序号	变量符号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48
28	DHjr	1	1	1	1	0	1	0	1	0	0	0	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0	1	1	0	1	1	0	0	1
29	YJYjl	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	1	0	1	1
30	YJYyg	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
31	YJYbe	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0
32	YJYzl	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
33	YJYlw	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
34	SBgh	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
35	SBxky	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
36	SBhtk	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
37	SBlns	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
38	SBhtk	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
39	SBjym	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
40	SBdly	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
41	SBtsy	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
42	SBzjs	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
43	Sbjy	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0
44	MYρ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
45	MYν	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
46	MYκπ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
47	SBtsy	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
48	SBzjs	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
49	MYρ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
50	MYν	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
51	MYκπ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
52	MYq	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
53	MYδμ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
54	MYβμ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0

续表

表7.11　变量初始赋值表

序号	变量符号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48
55	MYλμ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
56	MYλπ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
57	MYδ	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
58	KDzx	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
59	KDxx	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
60	KDkd	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0
61	QTytjh	1	0	0	1	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	0	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0	1	1	1	0	1	1	0
62	QTytnb	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0
63	QTmyfy	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
64	QTpsd	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
65	QTju	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0
66	HCz	1	1	1	0	1	1	0	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1	1	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	1	0	1	0	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	1	1
67	HCf	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	1	0	0
68	Hcty	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
69	GZjq20	0	1	0	1	1	0	1	0	1	1	0	0	1	0	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0
70	GZjq10	0	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0
71	GZjq5	0	0	0	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	0	0	1	1	1	1	1	0
72	GZjq2.5	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	0
73	Dcjdj	0	1	0	0	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0
74	DCgsjj	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	1	0	1	0	0	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0
75	DCjlj	1	1	0	1	1	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	0	1	0	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	0	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0	1	1	1	0	1	0	0
76	DCgcj	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	0
77	DCqj	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	0
78	HCtdd	1	1	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	1	1	1	0	0	1	1	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0

表7.12　已知单元变量表

序号	变量	2	3	21	23	24	33	35	36	38	42	44
1	GZnw20	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	1
2	GZnw10	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
3	GZnw2.5	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
4	GZne20	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
5	GZne10	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0
6	GZne5	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1
7	GZne2.5	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0
8	GZns20	1	0	0	0	1	1	1	0	0	1	1
9	GZns10	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0
10	GZns5	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	GZns2.5	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0
12	GZew10	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0
13	GZew2.5	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1
14	GZqx	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
15	GZjx	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0	1
16	DHzh1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	1
17	DHzh2	1	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0
18	DHzh3	1	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0
19	DHzh4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	DHzh5	1	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0
21	DHzh6	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0
22	DHjq	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0
23	DHjr	1	1	1	1	1	0	1	0	1	0	1
24	YJYjl	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	0
25	YJYzl	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
26	YJYlw	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
27	SBgh	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
28	MYq	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
29	MYδμ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
30	MYβμ	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
31	MYλμ	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
32	MYδ	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0
33	KDzx	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0
34	KDxx	1	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0
35	KDkd	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
36	QTytjh	1	0	1	0	1	1	1	1	0	1	1
37	QTytnb	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0
38	QTmyfy	1	1	0	1	0	0	0	1	1	0	0
39	QTpsd	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
40	QTju	1	0	1	0	0	1	1	1	0	1	0
41	HCz	0	1	0	1	0	1	0	1	1	1	0
42	HCf	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
43	Hcty	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0
44	GZjq20	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
45	GZjq10	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1
46	GZjq5	1	0	1	0	1	0	1	1	0	0	1
47	GZjq2.5	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1
48	Dcjdj	1	0	1	0	0	1	1	1	0	1	1
49	DCgsjj	1	1	1	0	0	1	0	1	0	1	1
50	DCjlj	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1
51	DCqj	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1
52	HCtdd	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1

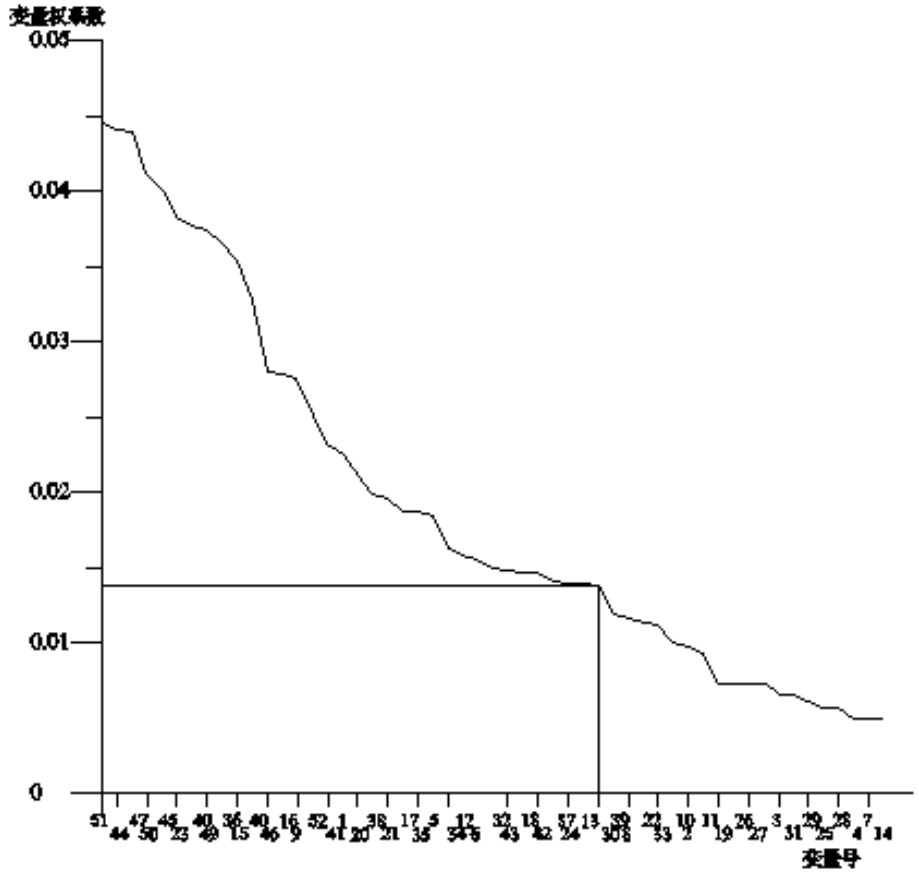


图 7.2　已知单元变量权系数趋势图

表 7.13　已知单元变量优化表

变量	2	3	21	23	24	33	35	36	38	42	44	变量权
DCqj	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0.044436
GZjq20	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.044078
GZjq2.5	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0.043918
DCjlj	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0.041103
GZjq10	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	0.040106
DHjr	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	0.038219
Dcjdj	1	0	0	1	0	1	1	1	0	1	1	0.037732
DCgsjj	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0.037498
QTytjh	0	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1	0.036523
GZjx	0	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0.035423
QTju	1	0	0	1	0	1	1	1	0	1	0	0.032871
GZjq5	0	0	0	1	1	0	1	1	0	0	1	0.028016
DHzh1	1	0	1	1	1	0	0	1	1	0	1	0.027921
GZns10	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0.027541
HCtdd	1	0	0	1	0	1	0	0	0	1	1	0.0251
HCz	1	1	1	0	0	1	0	1	1	0	0	0.02313
GZnw20	0	0	0	0	1	0	1	1	0	1	1	0.022474
DHzh5	1	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0.021101
QTmyfy	0	1	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0.01981
DHzh6	1	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0.019542
DHzh2	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1	0	0.018714
KDkd	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0.018667

续表 表 7.13 已知单元变量优化表

变量	2	3	21	23	24	33	35	36	38	42	44	变量权
GZne10	1	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0.018429
KDxx	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0.016193
GZew10	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0.015808
GZne5	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0.01547
MYδ	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0.014891
Hcty	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0.014832
DHzh3	0	0	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0.014713
HCf	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0.014713
QTytnb	1	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0.014039
YJYjl	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	0	0.01385
GZew2.5	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0.013722

表7.14 预测单元变量优化表

变量名	1	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	22	25	26	27	28	29	30	31	32	34	37	39	40	41	43	45	46	47	48
DCqj	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	0
GZjq20	0	1	1	0	1	0	1	1	0	0	1	0	1	0	1	1	0	1	1	0	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0
GZjq2.5	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	0
DCjlj	1	1	1	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	0	1	0	1	0	1	1	1	1	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	1	0	1	0	0
GZjq10	0	1	1	1	0	1	1	0	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0
DHjr	1	1	0	1	0	1	0	0	0	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1
Dcjdj	0	0	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
DCgsjj	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	1	1	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0
QTytjh	1	1	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	1	1	0	1	0	1	1	0
GZjx	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0
QTju	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	1	0	1	1	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0
GZjq5	0	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	0
DHzh1	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	1	0	0	1	1	1	1
GZns10	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
HCtdd	1	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
HCz	1	0	1	1	0	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	1	0	0	0	1	1
GZnw20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0
DHzh5	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	1	1	0
QTmyfy	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
DHzh6	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1	0
DHzh2	0	1	0	1	1	0	0	0	1	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0
KDkd	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
GZne10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0
KDxx	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
GZew10	0	1	0	0	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0
GZne5	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0
MYδ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Hcty	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
DHzh3	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0
HCf	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0
QTytnb	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0
YJYjl	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	0	1	1
GZew2.5	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0

第 8 章 矿产资源定位及定量预测

矿产资源定位预测，是以地质统计学为主要方法解决矿产资源预测的空间定位问题。该方法以在综合信息解译工作为基础，根据圈定预测单元所必须的成矿条件组合，在空间上限定的范围内进一步进行统计评价[106, 107]。工作重点主要是在评价结果优选出成矿可能性较大的预测单元中进行。

矿产资源定量预测是在预测单元的定位预测的基础上，运用数学方法对预测成矿单元可能的资源量的大小、资源量的规模级别、资源的质量以及资源总量等性质和资源潜力做出评价。

矿产资源定位是定量估算的基础，资源定量估算是单元定位预测的进一步验证，是在预测单元成矿有利度和矿产资源的相依关系的基础上进行的矿产资源定量的评价。

8.1 矿产资源定位预测

资源定位预测是对资源可能分布位置以及成矿可能性进行定量评价。资源分布位置的确定是传统地质普查在找矿工作中的重要任务，是资源预测工作最重要的内容之一。明确了资源分布位置，不仅对实际生产具有重要的指导意义，而且在资源量估算工作中也提供了必要的条件。

矿产资源定位预测实质上是对每一个预测区内的统计单元的成矿可能性或成矿有利程度的一种统计学评估。这种评估方法是以同级类比为指导下进行的，以单元成矿有利度或成矿可能性大小的函数来评价每一个预测单元。

本次金矿预测采用多种统计方法建立评价模型，选用特征分析、Q型聚类分析和数量化理论等方法[108]。

8.1.1 特征分析评价模型

在单元的变量赋值与优化的基础上，选择已知有矿单元作为已知单元，通过对

单元变量的计算，根据单元联系度进行单元的划分，从而对已知单元进行分级。单元联系度的大小由单元在各变量上是否有利来决定的，是对成矿有利性的一种度量，可以通过单元内的地质变量进行度量。其数学模型为：

$$l_i = \sum_{j=1}^{m} a_j x_{ij} \qquad \begin{cases} i = 1,2,\cdots,n \\ j = 1,2,\cdots,m \end{cases} \qquad (1)$$

其中：*li*称为单元联系度，它表征了单元成矿概率大小；

a_i为变量权系数；

x_{ij}为第*i*个变量的取值；

（1）模型单元联系度计算

利用所建立的评价模型，计算了11个模型单元（已知单元）的联系度。计算结果如表8.1所示：

表8.1　已知单元联系度计算表

单元号元号	单元联系度	单元号	单元联系度联系度
2	0.5279	35	0.3987
3	0.4115	36	0.618
21	0.4632	38	0.4902
23	0.6525	42	0.5053
24	0.3386	44	0.5651
33	0.4896		

预测单元通过对已知单元的联系度对比确定成矿有利程度。因此，根据已知单元计算获得的单元联系度可以区分单元的成矿可能性。根据已知单元联系度曲线特征显示，曲线拐点或曲率变化较大的单元往往是不同规模矿床（点）单元的分级界限，如图8.1 显示已知单元联系度可以分为4 个等级A、B、C、D，分别显示成矿可能性的大小，即：

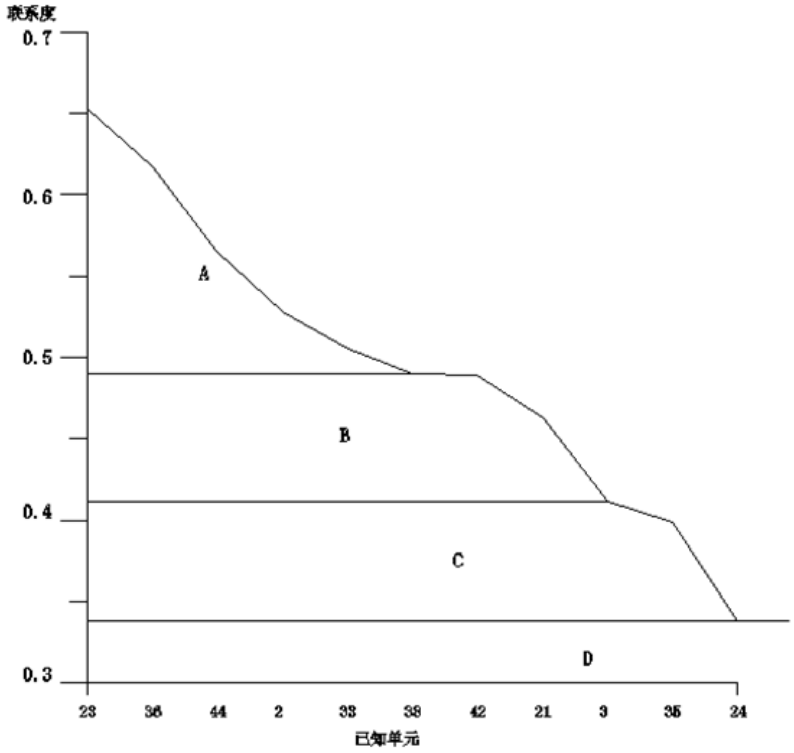


图8.1　已知单元联系度曲线图

A 级单元联系度大于0.49，显示为形成金矿床的可能性最大。

B 级单元联系度为0.49～0.41，显示为形成金矿床的可能性较大。

C 级单元联系度为0.41～0.34，显示为形成金矿床的可能性稍大。

D 级单元联系度为小于0.34，显示为形成金矿床的可能性较小。

（2）预测单元评价

1.预测单元成矿有利度计算

利用已知单元计算获得的单元重要变量权（表7.13），对预测单元的成矿有利度进行计算。成矿有利度计算实际上是一种变量线性组合，通过对单元内不同变量的权值大小进行得分计算，最终求得成矿有利度（表8.2）。

表8.2　预测单元成矿有利度表

单元号	成矿有利度	单元号	成矿有利度
1	0.305397	25	0.336998
4	0.455775	26	0.441604
5	0.422743	27	0.368504
6	0.283085	28	0.255514
7	0.390201	29	0.273575
8	0.446537	30	0.510765
9	0.428457	31	0.439564

续表　　表8.2　预测单元成矿有利度表

单元号	成矿有利度	单元号	成矿有利度
10	0.26524	32	0.505527
11	0.254698	34	0.406577
12	0.30171	37	0.333591
13	0.382506	39	0.6404
14	0.460662	40	0.326811
15	0.386908	41	0.250887
16	0.37866	43	0.507049
17	0.455975	45	0.297268
18	0.352044	46	0.465324
19	0.28035	47	0.349774
20	0.384737	48	0.10312
22	0.477122		

2.预测单元分级

对比已知单元联系度分级，确定预测单元成矿可能性的大小进行定位预测，分级结果见表8.3。

根据单元定位分级确定研究区内预测单元定位预测，共计预测单元37个，其中A 级预测单元4个，B 级预测单元10个，C 级单元9个，D 级单元14 个。

表8.3　特征模型预测单元定位分级表

单元编号	单元分级	单元编号	单元分级	单元编号	单元分级
39	A	5	B	1	D
30	A	34	C	12	D
43	A	7	C	45	D
32	A	15	C	6	D
22	B	20	C	19	D
46	B	13	C	29	D
14	B	16	C	10	D
17	B	27	C	28	D
4	B	18	C	11	D
8	B	47	C	41	D
26	B	25	D	48	D
31	B	37	D		
9	B	40	D		

8.1.2 Q 型聚类分析模型

聚类分析是一种常用的多元统计方法，它是依据观测数据对样品或变量进行数字分类的数理统计方法。分类的依据是样品或变量之间关系的亲疏程度。度量亲疏程度的方法有多种，常用的方法有相关系数法、相似系数法、距离系数法和重心法等[104]。

在统计单元变量优化基础上对研究区内的统计单元进行聚类分析计算。在33维空间中对48个单元进行Q型聚类分析，结果见地质单元Q型聚类分析谱系图（图8.2）。

由图8.2可以看出，48个统计单元与有良好的群分性。在L=0.17的相关系数水平上可以将单元分为5个组。

第一组主要由6个单元组成，已知单元2个，预测单元4个，统计单元成矿有利度整体较高，定位预测分级主要以A级为主，显示为高成矿概率单元。

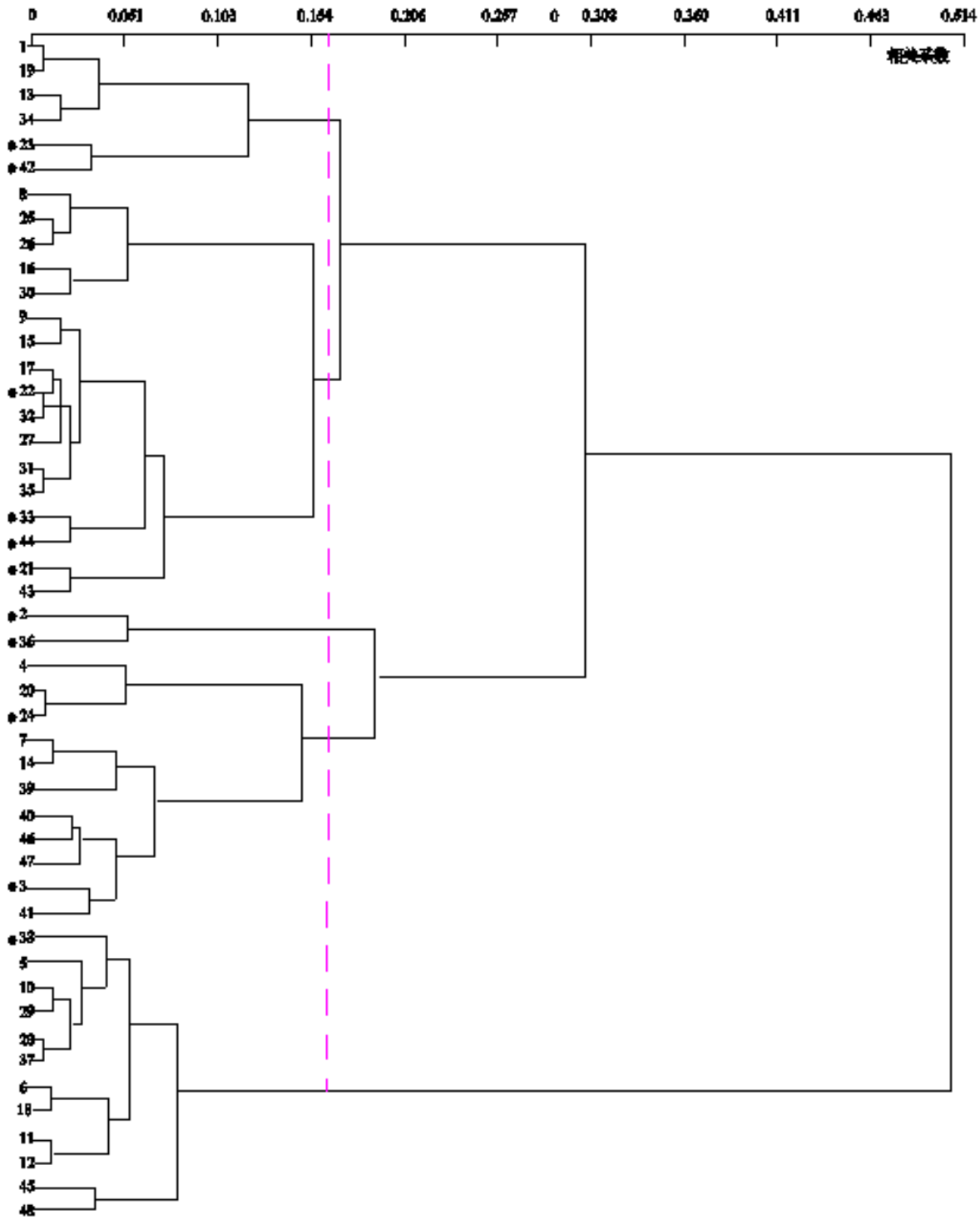
第二组主要由17个单元组成，已知单元4个，预测单元13个，统计单元成矿有利度较高，定位预测分级主要以B级为主，显示为较高的成矿概率单元。

第三组主要由2个已知单元组成。

第四组主要由11个单元组成，已知单元2个，预测单元9个，统计单元成矿有利度较高，定位预测分级主要以C级为主，显示为稍高的成矿概率单元。

第五组主要由12个单元组成，已知单元1个，预测单元11个，统计单元成矿有利度整体偏低，定位预测分级主要以D级为主，显示为成矿概率较低的单元组。

Q型聚类分析模型预测单元成矿级别结果见表8.4。



注：●表示已知单元

图8.2　统计单元聚类分析谱系图

表8.4 Q型聚类模型预测单元定位分级表

单元编号	单元分级	单元编号	单元分级	单元编号	单元分级
1	A	27	B	5	D
19	A	31	B	10	D
13	A	43	B	29	D
34	A	35	B	28	D
8	B	4	C	37	D
25	B	20	C	6	D
26	B	7	C	18	D
16	B	14	C	11	D
30	B	39	C	12	D
9	B	40	C	45	D
15	B	46	C	48	D
17	B	47	C		
32	B	41	C		

8.1.3 数量化理论Ⅳ模型

利用数量化理论Ⅳ对统计单元进行分析计算，根据统计单元二维特征向量图，如图8.3 所示。

图8.3表明48个单元具有良好的从聚性。根据单元的群聚特点可以分成4个群。自上而下为：

第一群由9个单元构成，包括了1个已知有矿单元，为有望成矿单元群，定为C级。

第二群由9个单元构成，包括了4个已知有矿单元，为成矿概率大单元群，定为A级。

第三群由13个单元构成，包括了3个已知有矿单元，为成矿单元群，定为B级。

第四群由6个单元构成，包括了1个已知有矿单元，为成矿概率小单元群，定为C级。

其余为外列单元，定为成矿概率极小单元，定为D级。分级结果见表8.5。

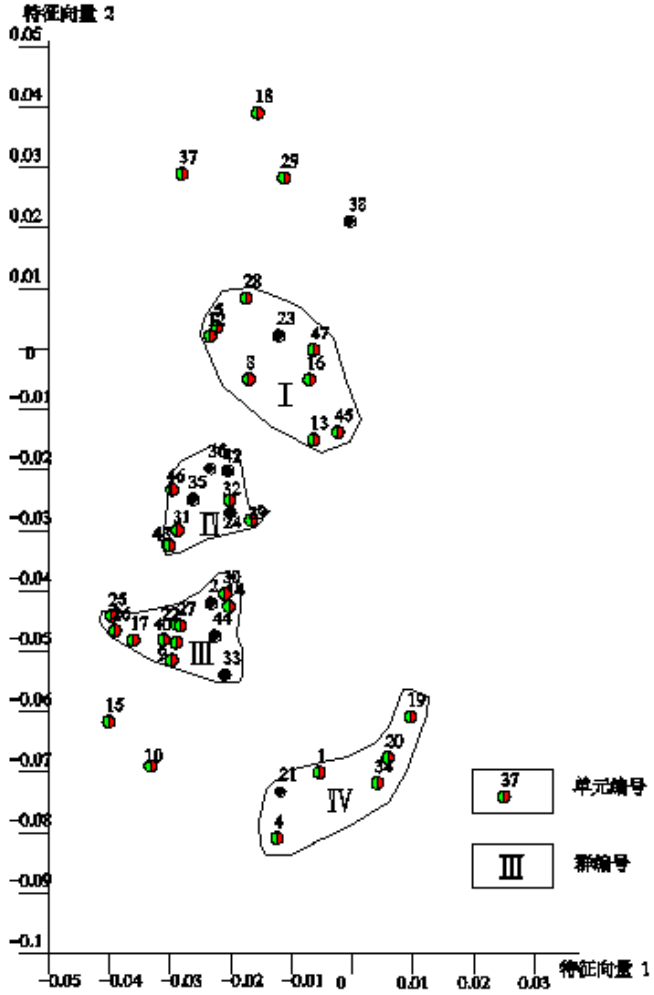


图8.3　统计单元特征向量分析图

表8.5　数量化理论Ⅳ预测单元定位分级表

单元编号	单元分级	单元编号	单元分级	单元编号	单元分级
31	A	22	B	4	C
32	A	40	B	1	C
39	A	5	C	34	C
43	A	8	C	10	D
46	A	20	C	15	D
7	B	19	C	18	D
9	B	12	C	29	D
14	B	13	C	37	D
17	B	16	C	6	D
25	B	28	C	11	D
26	B	45	C	41	D
27	B	47	C	48	D
30	B				

8.2 矿产资源定量预测

矿产资源定量预测是矿产资源定位预测的延伸，对预测单元内某种矿产资源的总量进行估算，进而对某矿种在预测单元内的找矿资源潜力进行评价。是应用数学方法对某矿种的地质特征做出定量估计，以及对某矿种的资源潜力做出论证。

8.2.1 定量预测变量选择

通过对已知单元的变量、单元之间的相互关系，对矿床规模的影响程度，利用变异序列法对已知单元内的变量进行挑选，通过变量比较，剔除对矿床规模无关的变量，保留与矿床规模具有区分作用的变量，并对变量进行合并。在变量挑选的基础上考察单元间的关系对矿床规模的影响程度。

根据已知含矿单元的规模差异，依据同规模单元的资源量差异尽可能小，不同规模单元间资源量差异尽可能大的原则，从11个已知单元中选择了6个单元作为模型单元，分成三组，每组2个同规模的单元。在原始变量表7.13的基础上，利用方法中的变异序列法考查变量与矿产资源规模变化规律的关系，挑选出重要变量10个，形成地质单元-重要变量表（表8.6）。

表8.6 定量预测单元变量

变量	GZjq20	DCjlj	DHjr	Dcjdj	QTytjh	GZjx	DHzh5	QTmyfy	GZne10	GZew10	
3	0	0	1	0	0	1	0	1	1	1	已知单元
44	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	
24	1	0	1	0	1	1	0	0	0	0	
38	1	1	1	0	0	1	0	1	0	0	
21	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	
42	1	1	0	1	1	0	1	0	0	0	
1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	预测单元
4	1	1	1	0	1	1	0	1	0	1	
5	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	
6	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	
7	1	1	0	0	1	1	1	0	0	0	
8	0	1	1	1	1	1	0	0	0	1	
9	1	1	0	1	1	1	0	0	0	1	
10	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	
11	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	
12	0	0	1	0	1	1	0	0	0	1	
13	1	1	1	0	1	1	0	1	0	0	
14	0	1	1	0	1	1	1	0	0	0	

续表　　表8.6　定量预测单元变量

变量	GZjq20	DCjlj	DHjr	Dcjdj	QTytjh	GZjx	DHzh5	QTmyfy	GZne10	GZew10	
15	1	1	0	0	1	1	0	0	1	0	
16	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	
17	1	1	0	1	1	1	0	0	0	0	
18	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	
19	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	
20	1	0	1	0	1	1	0	0	0	0	
22	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	
25	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	
26	0	1	0	0	1	1	0	0	1	1	
27	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	
28	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	预测单元
29	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	
30	0	1	1	1	1	1	0	0	1	0	
31	1	0	1	1	1	1	0	0	1	0	
32	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	
34	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	
37	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	
39	1	1	0	1	1	1	1	0	1	0	
40	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	
41	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	
43	1	1	0	0	1	1	1	0	0	1	
45	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	
46	1	1	0	0	1	1	1	0	1	0	
47	0	0	0	0	1	1	1	0	0	1	
48	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	

8.2.2　定量预测模型

利用逻辑信息法对预测单元进行定位预测。通过选择各种规模的已知地质单元作模型，据此研究地质变量对矿床规模的区分意义，并给出度量以形成找矿标准，用对象权表现各级矿床的规模特征。通过对已知单元标志权和对象权的计算（表8.7），确定已知单元的定量预测模型，将对象权用曲线表示如图 8.4 所示。

表 8.7　已知单元对象权计算

单元	GZjq20	DCjlj	DHjr	Dcjdj	QTytjh	GZjx	DHzh5	QTmyfy	GZne10	GZew10	对象权
23	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
33	0.5	0.167	0	0.25	0.083	0	1	0.083	0.5	0.5	3.083
38	0.5	0	0	0	0.083	0	1	0.083	0.5	0.5	2.667
2	0.5	0.167	0	0.25	0	0	1	0	0.5	0.5	2.917
21	0.5	0.167	0	0.25	0.083	0	1	0.083	0.5	0.5	3.083
42	0.5	0.167	1	0.25	0.083	1	0	0.083	0.5	0.5	4.083

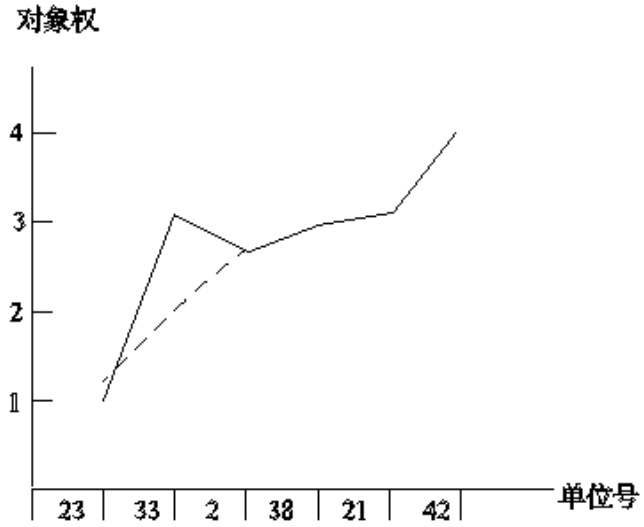


图 8.4　已知单元对象权曲线图

图 8.4 反映了矿产资源量的变化规律性。单元中赋值的资源量规模由小到大其对象权值呈上升趋势。仅小型与矿点之间出现回反现象。

规模分级定为：

矿点 ≤2.04

小型 2.04＜L≤3

中型 ＞3

8.3　预测成果解释及表达

对预测成果进行科学解释及表达是矿产预测的最终要求。解释是成果可行性和可靠性说明，表达即解释了预测矿产的分布规律和矿产特征，还要对研究区的战略或战术提出具有参考价值的建议。

8.3.1　单元位置预测

本研究使用了3种预测方法开展预测工作，目的是以不同角度去认识成矿现象，使成果可靠性和可信性得到增强。

根据各种方法解决问题的思路、数学原理和作用等因素，提出综合评价等级确定以特征分析方法所得成果为主导因素，其它方法成果为次要因素的做法。等级用

A、B、C、D 表示。

A级：特征分析成果为A级，其它方法至少有一个达到A 级

B级：特征分析成果为B级以上，其它方法至少有一个达到B级以上

C级：特征分析成果达到C级以上，其他方法至少一个达到C级以上

D级：特征分析方法成果为C 级以下，其它成果为B级以下。

多方法成矿单元预测结果见表8.8。

表8.8　多方法成矿单元定位预测结果表

单元编号	特征分析等级	Q 型聚类等级	数量化Ⅳ等级	综合评价
1	D	A	C	D
4	B	C	C	C
5	B	D	C	C
6	D	D	D	D
7	C	C	B	C
8	B	B	C	B
9	B	B	B	B
10	D	D	D	D
11	D	D	D	D
12	D	D	C	D
13	C	A	C	C
14	B	C	B	B
15	C	B	D	C
16	C	B	C	C
17	B	B	B	B
18	C	D	D	D
19	D	A	C	D
20	C	C	C	D
22	B	B	B	B
25	D	B	B	D
26	B	B	B	B
27	C	D	B	C
28	D	D	C	D
29	D	B	D	D
30	A	B	B	B
31	B	B	A	B
32	A	A	A	A
34	C	B	C	C
37	D	D	D	D
39	A	C	A	A
40	D	C	B	D
41	D	C	D	D
43	A	B	A	A
45	D	D	C	D
46	B	C	A	B
47	C	C	C	C
48	D	D	D	D

表 8.8 中的综合评价成果可以看出，37 个单元中有 21 个成矿可能单元，但级别有差异。

A 级成矿单元 3 个，分别为 32、39、43 号单元；

B 级成矿单元 9 个，分别为 8、9、14、17、22、26、30、31、46 号单元；

C 级成矿单元 9 个，分别为 4、5、7、13、15、16、27、34、47 号单元。

其余为 D 级单元，成矿的可能性较小。

8.3.2 单元成矿规模预测

应用逻辑信息法模型进行预测单元对象权大小，排入标准单元序列，从而估计出它们的矿化规模。利用逻辑信息法的对象权模型，根据各标志的权重，分别计算 37 个非模型地质单元的对象权值，预测各地质单元可能赋存的矿产资源规模，其结果见表 8.9。

表 8.9 预测单元成矿规模表

单元号	对象权	中型	小型	矿点	单元号	对象权	中型	小型	矿点
1	2.333		√		25	2.333		√	
4	2.250		√		26	3.333	√		
5	3.000		√		27	3.833	√		
6	1.083			√	28	2.583		√	
7	1.833			√	29	2.833		√	
8	2.083		√		30	2.083		√	
9	3.583	√			31	2.417		√	
10	2.917		√		32	2.083		√	
11	2.583		√		34	2.833		√	
12	1.667			√	37	3.083	√		
13	1.750			√	39	2.583		√	
14	0.333			√	40	1.667			√
15	2.833		√		41	0.083			√
16	1.167			√	43	2.333		√	
17	3.083	√			45	2.083		√	
18	1.583			√	46	2.333		√	
19	2.333		√		47	1.667			√
20	1.667			√	48	2.083		√	
22	2.583		√						

8.3.3 单元成矿远景预测

金矿勘查找矿区的选择，应满足成矿可能性大和资源规模大两个基本条件。根据地质单元成矿级别和规模预测成果，将 37 个非模型地质单元划分Ⅰ级、Ⅱ级和Ⅲ级Ⅳ级四类成矿远景区，其结果见表 8.10。

由表 8.10 可知：

Ⅰ级金矿成矿远景区：成矿条件优越，成矿级别 A 级，成矿规模为小型以上。包括 32 号和 39、43 号三个地质单元。

Ⅱ级金矿成矿远景区：成矿条件优越，成矿级别 B 级以上，成矿规模为小型以上。包括 8、9、17、22、26、30、31、46 号 8 个地质单元

Ⅲ级金矿成矿远景区：成矿条件较好，成矿级别 C 级以上，成矿规模为小型以上。包括 4、5、14、15、16、27、34、37 号 8 个地质单元

Ⅳ级金矿成矿远景区：成矿地质条件一般，成矿级别为 D 级 ，成矿规模为小型以下。包括 1、6、7、10、11、12、13、18、19、20、25、28、29、40、41、45、47、48 单元。

表 8.10 预测单元定位定量综合评价

单元号	成矿级别	成矿规模	综合评价	单元号	成矿级别	成矿规模	综合评价
1	D	小型	Ⅳ	25	D	小型	Ⅳ
4	C	小型	Ⅲ	26	B	中型	Ⅱ
5	C	中型	Ⅲ	27	C	中型	Ⅲ
6	D	矿点	Ⅳ	28	D	小型	Ⅳ
7	C	矿点	Ⅳ	29	D	小型	Ⅳ
8	B	小型	Ⅱ	30	B	小型	Ⅱ
9	B	中型	Ⅱ	31	B	小型	Ⅱ
10	D	小型	Ⅳ	32	A	小型	Ⅰ
11	D	小型	Ⅳ	34	C	小型	Ⅲ
12	D	矿点	Ⅳ	37	D	中型	Ⅲ
13	C	矿点	Ⅳ	39	A	小型	Ⅰ
14	B	矿点	Ⅲ	40	D	矿点	Ⅳ
15	C	小型	Ⅲ	41	D	矿点	Ⅳ
16	C	矿点	Ⅲ	43	A	小型	Ⅰ
17	B	中型	Ⅱ	45	D	小型	Ⅳ
18	D	矿点	Ⅳ	46	B	小型	Ⅱ
19	D	小型	Ⅳ	47	C	矿点	Ⅳ
20	D	矿点	Ⅳ	48	D	小型	Ⅳ
22	B	小型	Ⅱ				

以表 8.10 为基础，编制出金矿资源分布图（见图 8.5），展示了研究区内金矿资源分布、成矿可能性及成矿规模特征。

结合预测单元地质特征及单元定位、定量预测结果，32、39、43号预测单元具有较强的找矿前景，作为寻找金矿的重点远景区，这三个预测单元都在老岭成矿带内，老岭成矿带是研究区内一条重要的贵金属和多金属成矿带，带内成矿条件优越。证实本次预测模型选择合理，预测结果理想。8、9、17、22、26、30、31、46号预测单元具有一定的找矿前景，可以作为后续找矿工作的重点单元，特别注意的是其中有5个地质单元处在玄武岩覆盖区，指示研究区内玄武岩覆盖地区找矿前景很大。4、5、14、15、16、27、34、37号预测单元与前两组单元相比成矿有利度较低，需要对单元做进一步的勘查工作，作为找矿的远景储备单元。

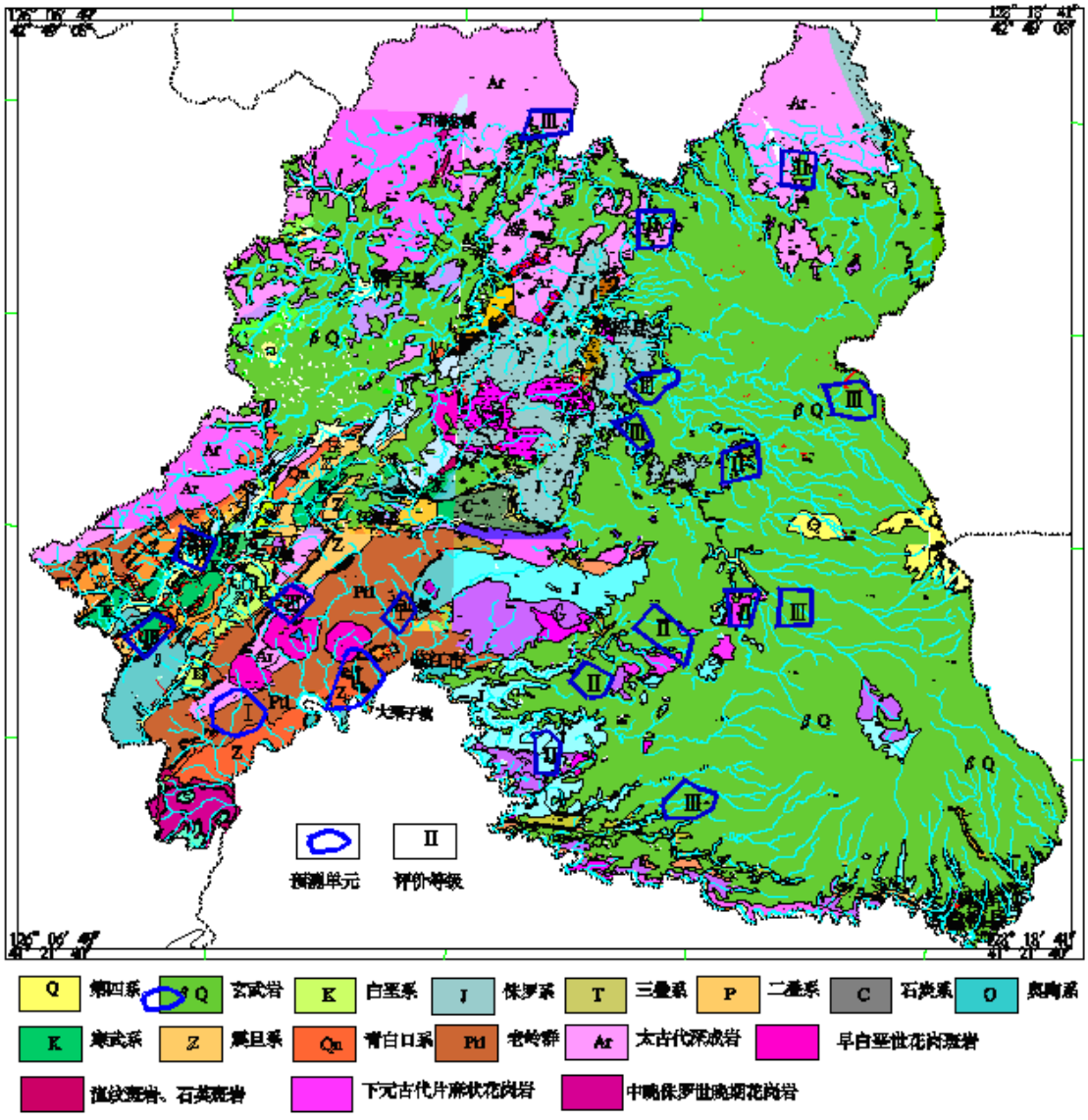


图 8.5　白山地区金矿资源远景区分布图

第 9 章　结 论

本论文重点对白山地区开展了综合信息成矿预测研究。通过区域地质、地球物理、地球化学剩余异常及典型矿床成矿地质条件分析，认为白山地区金多金属矿与重力、航磁等资料反映的深部地球物理信息有一定的关联。地球化学剩余异常也揭示了白山地区极具资源找矿潜力。因此，在此基础上开展了以地质为先验前提的综合信息成矿预测研究工作。

1、首次运用综合信息成矿预测方法对白山地区前寒武纪基底、构造格架、岩浆活动等基础地质问题进行了全面、系统的分析研究，认为区域性基底分布呈东西向，区域性构造格架以北西向、北东向断裂构造为主，北西向、北东向、南北向断裂构造以及岩浆侵入、喷发活动均受基底构造格架控制。

2、系统总结了白山地区金多金属矿床成矿条件、控矿因素及成矿规律，指出白山地区金矿综合信息找矿标志，建立成矿系列预测模型，根据成矿条件和找矿标志圈定了预测靶区。

3、首次进行全区 1∶20 万金矿成矿预测研究，对出露基底、隐伏基底、中酸性岩体、航磁线形构造、环形构造等控矿因素进行了成矿有力度评价，认为金矿成矿的有利因素是航磁解译环形构造、航磁解译深部的线形构造与环形构造的交汇部位，环形构造与盖层交汇部位、多组断裂的交汇部位、基底块体与中酸性火山岩体交汇部位等。

4、提出了白山地区综合信息构造控矿体系。金多金属地球化学异常展布方向受北西向构造控制，如白山板石镇—临江六道沟镇异常带和靖宇那儿轰镇—抚松胜利农场异常带，异常走向均为北西，带内分别有 25 个异常区和 11 个异常区，且异常规模和强度大，浓集中心明显。

5、首次应用因子—泛克里格模型对研究区的 1∶20 万化探数据进行处理，实现了地球化学元素的空间定量组合求异及 DEM 三维模型。结果显示组合异常分为三个带。Ⅰ带出现在研究区的东南，临江市蚂蚁河乡到长白县的梨树沟一带，其出露地层为第四系玄武岩。元素组合以 Co-Mn-Ti 为主，显示在玄武岩覆盖下寻找 Co 矿的潜力很大。Ⅱ带出现在研究区的西南，临江市三道岔—花旗镇一带，元素组合以 As-Au-Sb 为主，显示该带是金矿的密集区。Ⅲ带出现在研究区中部，湾沟镇—

闹枝镇—松树镇一带，元素组合为 Cr-Ni。该带异常揭示此带为与超基性岩、暗色火山岩类有关的元素聚集过程。

6、对研究区已知矿床的成矿规律、矿田地质特征、成矿地质背景以及物化探综合信息分析，运用建立的综合信息找矿模型共圈定统计单元48个，其中含有已知金矿床（点）的统计单元11个，未知预测统计单元37个。根据地质单元成矿级别和规模预测成果，将37个非模型地质单元划分Ⅰ级、Ⅱ级、Ⅲ级和Ⅳ级四类成矿远景区。Ⅰ级金矿成矿远景区包括32、39、43号三个地质单元，为寻找金矿的重点远景区；Ⅱ级金矿成矿远景区包括8、9、17、22、26、30、31、46号8个地质单元，作为后续找矿工作的重点单元；Ⅲ级金矿成矿远景区包括4、5、14、15、16、27、34、37号预测单元，作为找矿的远景储备单元。

7、通过航磁解译发现，在玄武岩覆盖区磁场特征明显，基本反映下伏岩层磁场特征，因此对玄武岩覆盖区的航磁解译实质是下伏有利岩层的解释。查明研究区大范围分布的玄武岩盖层受东西向基底构造控制，环形、线形构造发育，是成矿的有利地区，同时地球化学元素Co异常沿构造带发育明显，因此该区极有可能赋存 Co ，建议在寻找金矿资源的同时，注意寻找钴矿资源。

总之，虽然本次研究取得了一定的成果，也学到了许多有用的知识和技能，但由于时间有限，仍然存在许多不足之处，希望各位专家和同行批评指正，谢谢!

主要参考文献

[1] 李钟山.中国大型、超大型铜矿床密集区综合信息定量预测[D].长春:吉林大学,2005.

[2] 吉林省地质矿产局. 吉林省区域地质志[M] . 北京:地质出社,1988：577-579.

[3] 朱裕生,肖克炎等.成矿预测方法[M].北京:地质出版社,1997：17-35.

[4] 赵鹏大,胡旺亮等.矿床统计预测[M].北京:地质出版社,1983：23-45.

[5] 朱裕生.矿产预测方法学导论[M].北京:地质出版社,1984：27-56.

[6] 朱裕生.建立成矿模式的内容及工作方法[J].中国地质,1992,(2) ：22-24.

[7] 黄崇轲,白冶,朱裕生等.中国铜矿床(下册).地质出版社,2001(1) ：373-391.

[8] Xie Xuejing and Cheng Hangxin.The suitability of flood plain sediment as global sampling medium: evidence from China[J].Geochem. Explore,1997,58：51-62.

[9] 美国地质调查局 USGS 信息通报[M].Judy Back.1998: ：116-184.

[10] DeVerleP.Harris, FrederikP.Agterberg. The Appraisalof Mineral Resources [J].Economic Geology, Seventy-Fifth Anniversary . Volume (1905- 1980). 1981：897-938.

[11] 美国地质调查局.美国本土矿产资源评价计划系列报告之一.地理信息系统及其在地学领域中的应用译文集[R].地矿部科技司计算机办公室,1983：74-93.

[12]SangsterD.F.MississippiValley-typedeposits:Ageologicalmelange,in:intl.Conf.Mississippivalley-typeleadzincdeposits[R](eds.G.Kisvarsanyi,S.K.Grant,W.P.Pratt,andJ.W.Koenig),Univ.Miss.-Rolla,1983,7～19.

[13] Hodgson C J and Clark A H.Giant Ore Deposits.Queen's University, Kingston,1995.

[14] DeVerle P.Harris,Frederik P.Agterberg. The Appraisal of Mineral Resources.Economic Geology[J], Seventy－Fifth Anniversary.Volume (1905-1980)，1981：897～938.

[15]Barton P B and others.Recommendations for assess ments of undiscover edmineral resources[J].U.S.Geological Survey Open File ort 1995,(82) ：139.

[16] Lesley Wyborn ,etc. Using GIS for mineral potential evaluation in areas with few known mineral occurrences[J]. Second National forum on GIS in theGeosciences, 1995： 29-31

[17] 胡惠民等.大比例尺成矿预测方法[M].北京:地质出版社,1995：:4-7.

[18] Bliss J D,M enzie W D.Spatial m ineral deposit models and the prediction of undiscovered mineral deposits[R]. Mineral deposit modeling Geological Association of Canada Special Paper, 1983,(40) ：693.

[19] Agterberg F P. Automatic contouring of geological maps to detect target areas for mineral exploration [J] .Mathematical Gelogy,1974，6(4) ：373-395

[20] 王世称，陈永良，夏立显.综合信息矿产预测理论与方法[M].北京：科学出版社，2000：.1-20.

[21] 肖克炎.应用综合信息发研究成矿规律及成矿预测的新进展[J].地球科学进展，1994，9（2）：

18-23.

[22] 于又华.金矿地质勘探发展现状[J].黄金地质，4996，2（4）：72-75.

[23] 王安建，侯增谦，李晓波等.成矿理论与勘查技术现状及发展趋势[J].中国地质，2000，（1）：30-33.

[24] 肖克炎.试论综合找矿模型[J].地质与勘探，1994，30（1）：41-45.

[25] 陈毓川.当代矿产资源勘查评价的理论与方法[M].北京.地震出版社，1999：50-63.

[26] 石玉臣.山东省焦家成矿带深部金矿成矿预测研究及其应用[D].长春:吉林大学,2005

[27] 张原庆,王世称,宋炳忠等.地球化学信息在综合信息矿产预测中的应用[J].地学前缘,2005,12(3) ：323-324.

[28] 王世称,范继璋,杨永华.矿产资源评价[M].长春:吉林科学技术出版社,1990：21-28.

[29] 王世称,成秋明,范继璋.金矿资源综合信息评价方法[M].长春:吉林科学技术出版社,1990：1-21.

[30] 王世称,王於天.综合信息解译原理与矿产预测图编制方法[M].长春:吉林大学出版社,1989：3-18.

[31] 张原庆,王世称,宋炳忠等.地球化学信息在综合信息矿产预测中的应用[J].地学前缘,2005,12(3) ：323-324.

[32] 李颖,范继璋.综合信息矿产预测计算机系统[J].长春科技大报,1999,29(4) ：394-396.

[33] 王来军.河西金矿综合找矿信息研究[J].地质与勘探,2001,37(2) ：47-50.

[34] 王世称,刘玉强,伊丕厚等.山东省金矿床及金矿床密集区综合信息成矿预测[M].北京:地质出版社,2003：2-8.

[35] 刘安洲.成矿信息论与大比例尺矿产靶区定量预测[M].长春:吉林大学出版社,1991：3-12.

[36] 李俊建，沈保丰，李双保，等.辽北-吉南地区太古宙花岗岩-绿岩带地质地球化学[J].地球化学，1996，（5）：459-466.

[37] 王福润.吉林省南部下元古界集安群地质特征与沉积期古环境分析[J].吉林地质，1991，（2）：31-41.

[38] 姜春潮，等.辽吉东部前寒武纪地质[M].辽宁科学技术出版社，1987：87-102.

[39] 周晓东.吉林南部地区古元古代地质体物质组成及地壳演化[D].2002.

[40] 吴水波.王家店天合兴金铜矿带地质构造背景[J].吉林地质，1990，（4）：11-18.

[41] 邵建波，毕守业，杨豹.论吉南古元古代构造演化[J].吉林地质，1993，（1）：34-41.

[42] 吕贻峰，索书田，李建威，等.吉林老岭成矿带构造控矿规律及成矿预测[J].2003.

[43] 吉林省区域地质志，588-597.

[44] 董南庭，武贵禄，王光奇，等.鸭绿江断裂带基本地质特征及成矿规律[J].吉林地质，1989，（4）：1-25.

[45] 孙敏，张立飞，吴家弘.早元古代宽甸杂岩成因的地球化学证据[J].地质学报，1996，70（3）.

[46] 刘志宏，李三忠.太古宙构造研究进展[J].世界地质，1995，（1）：6-10.

[47] 崔玉珍.吉林省靖宇县天合兴碱长花岗岩特征及成因[J].吉林地质，1991，（1）：56-64.

[48] 张普林，张成梁，长白山喜马拉雅晚期碱性侵入体的发现[J].吉林地质，1995，13（3）：68-72.

[49] 史兰斌，陈孝德，陈清福等.长白山天池火山千年大喷发不同颜色浮岩的岩石化学特征[J].地震地质，2005，27（1）：61-65.

[50] 黄熏德,吴郁彦.地球化学找矿[M].地质出版社,1985(1) ：121-136.

[51] 石金峰,刘立枕,曾宪栋等.相关分析中有关问题的探讨[J].阜新矿业学院学报（自然科学版）,1994(13)2：56-58.

[52] 郭万超，陈学华.峪耳崖金矿床元素地球化学地质统计分析[J].地质找矿论丛,2002,17(1) ：63-72.

[53] Williams TM，Gunn AG. Application of enezyme leach soil analusis for epithermal gold exploration in the Andes of Ecudor [J].Applied Geochemistry,2002,17：367-385.

[54] 孙岳，雷时斌，卿敏等.吉林省海沟金矿断裂地球化学预测研究[J],地质与勘探，2002,8(3) ：23-27.

[55] 程玉明，金昌珍，宋群等.华北地台北缘花岗岩绿岩型金矿田及盲矿体的成矿模型[J].长春地质学院学报，1993，23（3）：292-298.

[56] 吕建生，王恩林，徐仲元等.辽北—吉南早前寒武纪地质与金矿[M].长春：吉林人民出版社，1996 .

[57] 陈毓川，裴荣富，宋天锐.中国矿床成矿系列初论[M]北京：地质出版社，1998.

[58] 陈尔臻，彭玉鲸，韩雪，等.中国主要成矿区（带）研究（吉林省部分）[R].2001.

[59] 王有维.吉林荒沟山金矿床岩溶成因探讨[J].吉林地质，1993，（4）：1-15.

[60] 刘劲鸿.一个典型岩溶金矿床-吉林省荒沟山金矿床[J].贵金属地质，2000，9（2）：82-90.

[61] 郑传久.吉林省荒沟山金矿床地质特征及成因[J].吉林地质，1995，（3）：1-16.

[62] 孙超.吉林省南部老岭地区金矿床成矿地质条件分析及成矿预测[J].黄金，1996，17（9）：9-12.

[63] 王义文.华北地台北缘金矿资源潜力及金矿活化成矿论[J].吉林地质，1991，（3）：1-6.

[64] 吕衍明.吉林省荒沟山铅锌矿床地质特征及矿床成因控讨[J].吉林地质，1983，（1）：15-30.

[65] 吉林省地质矿产局第四地质调查所．吉林省临江县荒沟山金矿床勘探报告[R].1993.

[66] 刘洪文.吉南斑岩-热液脉型金多金属矿床成矿作用及成矿模式[D]博士学位论文.2001

[67] 吉林省通化地质矿产勘查开发院.吉林省白山市金英金矿地质勘探报告[R]，2007：3-22.

[68] 冯本智,卢静文,邹　日,等.中国辽吉地区早元古代大型—超大型硼矿床的形成条件[J].长春科技大学学报,1998,28(1) ：1~11.

[69] 姜春潮.辽吉东部前寒武纪地质[M].沈阳:辽宁科技出版社,1987：1~118.

[70] 松权衡，魏发.白山市大横路铜钴矿区稀土元素地球化学特征[J].吉林地质，2000，（1）：47-50.

[71] 杨言辰，冯本智，刘鹏鄂.吉林大横路式热水沉积叠加改造型钴矿床[J].长春科技大学学报，2001，31（1）：40-45.

[72] 郭文秀，刘建民.吉林省大横路铜、钴矿床地质特征及控矿因素[J].前寒武纪研究进展，2002，25（3-4）：206-213.

[73] Rona P A , Scott SD.A Special Issue on Sea-floor Hydrothe mal Mineralization Perspective[J]. Economic Geology,1993,88：1935~2294.

[74] Rona P A Hydrothermal Mineralization at Ocean Ridges Canadia Mineralogist [J].1988,26(3) ：431~465.

[75] Zhou Y Z, Chown E H, Guha ,et al. Hydrothermal Origin of Pre-cambrian Beded Chert at Gusui, Guangdong,Chnia:Petrology and Geo-chemical Evidence [J] .Sedmentology,1994, (3)：605~619.

[76] 陈毓川,李兆鼐,毋瑞身等.中国金矿床及其成矿规律[M].北京：:地质出版社,2001：102-182.

[77] 冯守忠.吉林夹皮沟—海沟变质岩区金矿成矿带地质特征及成矿规律的探讨[J].矿产与勘探，1992（3）：11-16 .

[78] 冯守忠.吉林海沟金矿床地质特征及成矿模式[J].地质与勘探，1999，35（1）：10-13.

[79] 关键.吉林通化南岔式金矿地质—地球物理—地球化学综合找矿模型[J]，中国地质 2001.12：25-28.

[80] 冯守忠，雒利平，李信，等.吉林香炉碗子金矿床成矿地质特征及成因[J].黄金质，2000，6（3）：8-12.）.

[81] 赵彦明，王魁元，曹秀兰，等.吉林南部荒沟山南岔金矿的地质特征和地球化学研究[J].吉林地质，1993，（2）：57-65.

[82] 张耀奎.荒沟山铅锌矿床及珍珠门组硫、氧、碳和铅同位素地质特征[J].吉林地质，1983，（1）：53-59.

[83] 阎秀文.辽南、吉南及鲜北早元古界层控铅锌矿床矿石铅同位素特征对比[J].吉林地质，1986，（2）：68-78.

[84] 李春灿.荒沟山铅锌矿床成因和成矿机制探讨[J].吉林地质，1988，（4）：51-62.

[85] 李文贵，李军.南岔金矿床地质特征[J].吉林地质，1989，（2）：1-9.

[86] 吕贻峰，索书田，李建威，等.吉林老岭成矿带构造控矿规律及成矿预测[J].2003.

[87] 郭文秀，刘建民.吉林省大横路铜、钴矿床地质特征及控矿因素[J].前寒武纪研究进展，2002，25（3-4）：206-213.

[88] 杨言辰，冯本智，刘鹏鄂.吉林大横路式热水沉积叠加改造型钴矿床[J].长春科技大学学报，2001，31（1）：40-45.

[88] 韦延光，王可勇，杨言辰，等.吉林白山市大横路 Cu-Co 矿床变质成矿流体特征[J].吉林大学学报（地球科学版），2002，32（2）：128-133.

[89] McLennan S M. Relationships between the trace element composition of sedimentary rocks and

upper continental crust [J].Geochem. Geophys. Geosyst., 2001, 2:2000GC000109, 1-24.

[90] 毕守业，王德荣，贾大成，等.吉林省地体构造的基本特征[J].吉林地质，1995，（1）：1-14.

[91] 李俊建，沈保丰，李双保，等.辽北-吉南地区太古宙花岗岩-绿岩带地质地球化学[J].地球化学，1996，（5）：459-466.

[92] Saager R，M eyerM，M uffe R. Gold distribution in supracrustal rocks from Archean greenstone belts of southern Africa and from Palaeozoic ultramafic complexes of the European Apls:metallogenetic and geochemical implications[J]. Econ Geo,1982,77：1-24.

[93] 李俊建，沈保丰，毛德宝等。吉林夹皮沟金矿成矿时代的研究[J].地质学报，1996，70（4）：335-340.

[94] 孙忠实，冯亚民.吉林夹皮沟金矿床主成矿时代的确定及找矿方向[J].地球学报，1997，8（3）：155-162.

[95] 通化地勘院。石人镇，苇沙河，花山，临江副 1：5 万区域地质矿产调查报告[R].2001.

[96] 关键，吉林东南部贵金属及有色金属成矿规律研究[D]，长春，吉林大学，2004.

[97] 邵军.黑龙江省呼玛-漠河地区岩金矿综合信息成矿预测[D]. 长春:吉林大学,2005.

[98] 王世称,杨毅恒等．综合信息矿产资源预测中定性数据分析方法．吉林大学出版社，1999（4）：33-66．

[99] 王世称,叶水盛，等．综合信息成矿系列预测专家系统[M]．长春出版社，1999．

[100] 肖克炎,朱裕生,张晓华,宋国耀,陈郑辉.矿产资源评价中的成矿信息提取与综合技术[J].矿床地质,1999,(04).

[101] 杨中宝,彭省临,银霞,李朝艳.信息科学与矿产预测[J].地质找矿论丛,2004,(03).

[102] 王世称、侯慧群、王宇天等，1993，内生矿产成矿系列中比例尺预测方法研究，北京[M]：地质出版社.

[103] 刘超,王於天,陈爱菊.层次分析法在综合信息矿产资源预测中的应用[J].长春地质学院学报,1994,24(2) ：222-228.

[104] 王世称,杨毅恒,李景朝等.综合信息矿产资源预测中的定性数据分析方法[M].长春:吉林大学出版社,1999：33-40.

[105] 杨毅恒,韩燕,徐兵等.多维地学数据处理技术与方法[M]. 北京:科学出版社,2002：180-198.

[106] 曲亚军.辽宁省金矿成矿作用与成矿预测研究[D].长春:吉林大学,2006.

[107] 弓小平.新疆富蕴县萨尔布拉克一带金矿综合信息成矿预测研究[D].长春:吉林大学,2005.

[108] 潘国成.地质统计学中结构分析的理论与方法[J].世界地质,1997，16(3) ：70-82.

攻读博士学位期间发表的学术论文及其它成果

发表学术论文：

1、毕明丽，魏久传. 矿产水文地质信息管理系统的开发与应用，山东科技大学学报（自然科学版），2007 年 10 月，第 26 卷第 4 期，62-68

2、毕明丽，路来君，赵庆英，刘正宏. 内蒙古大青山地区孔兹岩系中大理岩岩组的地球化学特征及原岩建造，中国地质，2008 年，第 35 卷第 2 期，640-647

3、毕明丽，路来君，宋茂德，袁平. 新疆勒赛区地球化学特征及指示意义，世界地质，2009 年，第 28 卷第 1 期，60-67

参加科研项目：

1.《吉林省矿产资源开发利用结构布局、总量调控和结构优化》，独立完成了报告的第三部分总量调控的编写工作。

2.《哀牢山地区综合信息矿产预测方法及成果》负责项目的数据处理及资料处理、解译。

3《白山市中大比例尺矿产资源评价与规划》负责项目的数据处理及资料处理、解译，项目报告的编写。

致　谢

本论文是在导师路来君教授的悉心指导下完成的。三年来导师在学术思维方式上给予了我深刻的启发，尤其是导师实事求是、认真踏实、严谨的治学风格、渊博的知识、敏锐的思路、深入细致的工作作风使我耳濡目染、潜移默化、受益匪浅，是我终身学习的榜样。

给我印象最深的就是路老师在学习、工作中给予我的鼓励，正是他的鼓励，树立了我的自信心，使我切身体会到创新性研究和探索求知的乐趣。老师在学习上给予我的孜孜不倦的教诲，无微不至的关怀，在此致以最真挚的谢意！

感谢综合信息矿产预测所的王世称师爷、刘光胜老师在论文准备和数据处理阶段给予的指导和帮助！

感谢吉林大学地球科学学院研究生处李艳博老师，数字地质科学教研室的赵庆英老师在我攻读博士学位期间给予的帮助支持与鼓励。

室内研究和论文编写过程中得到了同门师妹李春华、韩冰、杨晨、王欢，师兄弟李世超、赵国磊等同学的大力支持和帮助，在此一并致以谢意！

感谢我的父母，我的亲人及我的朋友对我攻读博士学位的理解和支持！

感谢所有支持和关心我的老师、同学和亲朋好友。

摘 要

白山地区金多金属矿产资源研究预测研究

专 业：数字地质科学

导 师：路来君

作 者：毕明丽

吉林省白山市被国家划定为资源转型城市。白山地区地处华北地台北缘东段，是华北地台北缘成矿带的重要组成部分，虽然成矿地质条件优越，但由于大多处于覆盖区，目前已发现的具规模的矿产地并不多，大、中、小型各类金属矿床 40 多处，且成矿类型复杂。因此，该区地质找矿难度很大。早在上世纪五、六十年代投产的几十座金属矿山中的大部分已经因资源枯竭闭坑停产或濒临停产，急需新的接续或接替资源维系地方经济发展和社会稳定。在这种情况下，对该区立项实施金、多金属成矿预测，搞清多金属成矿的地质背景、控矿地质因素、矿化信息等，为今后的普查勘探提出进一步找矿方向显得尤为重要和迫切。

白山地区地质研究程度不平衡，在老岭地区地质工作开展较为深入，研究程度较高，而在长白山玄武岩覆盖区，研究程度非常低，构成了该区地质找矿的一大难题。本文所做的工作是在较全面、系统、完整地收集白山地区以往的1：20万地球物理、地球化学以及地质矿产勘查等方面的数据资料基础上，着重对研究区的航磁、水系沉积物等资料数据进行了最新方法的电算处理与综合解释，编制了该区1：20万综合信息成矿预测图，圈定了预测靶区。总结并建立了该区矿产资源预测模型与找矿模型。尤其重要的工作是通过航磁数据处理与解释，揭示了白山玄武岩覆盖区的岩体空间分布特征、基底构造格架、区域岩浆活动特征。在此基础上对地质变量进行逻辑组合研究，在变量的提取原则、变量的合理赋值、变量的空间关系讨论等诸方面做了些有益的尝试，最后给出了定位定量预测模型与结果。现将论文的工作和成果简述如下：

一、地质资料解释：白山地区分布最为广泛的地层为元古界和新生界的玄武岩。大地构造背景主要为华北地台北缘东段；断裂构造走向以NW、NE 和NS 向断裂居多，其中NW和NE向更为发育。区内伴随着构造运动发生多期次岩浆岩活动，主要

与太古代阜平运动和五台运动有关的深成岩的形成和中生代印支—燕山期运动有关的中酸性侵入杂岩的形成。

二、地球物理、地球化学资料解释：对研究区 1：20 万航磁资料和水系沉积物测量资料进行解释，以挖掘更深层次的地球物理和地球化学信息，对构造格架、岩浆岩等进行推断。

航磁数据的处理办法是作四个高度（20km、10km、5km、2.5km）的向上延拓，用以判别不同延深的地质体，不同延拓高度四个方向的水平一阶导数计算和垂向二阶导数计算。对研究区内金多金属成矿条件，如构造、地层、侵入岩等现象进行推断，通过不同高度，不同方向的信息的关联实现对研究区构造格架的三维推断，对典型地层，侵入岩进行三维推断，从而发现若干北西向断裂构造。此组断裂构造晚于北东向构造，并破坏北东向构造的完整性，北西向构造控制金多金属矿，是控矿构造。圈定了隐伏岩体的位置，特别是发现东西向基底控制玄武岩盖层展布。

对研究区水系沉积物地球化学数据，运用克里格、泛里格及 SPSS 方法对数据进行处理。经解释得出区内 Au 变异系数为 1.4 ，具有变异性 ，说明区内 Au 变化强烈，是富集成矿的标志。全区共圈出金异常 47 个，异常在区内成群、成带分布。异常可以划分为白山板石镇—临江六道沟镇异常带和靖宇那儿轰镇—抚松胜利农场异常带。Au 异常分布基底边缘，岩体接触带部位，从 Au 异常的展布形态可以看出 NW 向构造控制金矿。Au、Co、Ni 元素异常具有高值叠加效果。Co、Ni 元素异常吻合性要优于 Au、Co 和 Au、Ni。Co、Ni 在成矿过程中具有相同的成因，而 Au 可能为不同的成矿期或成矿阶段。Cu、Pb、Zn 元素具有高值叠加效果。Cu 异常主要在岩体中心，为内带，Pb、Zn 异常主要在岩体的边缘，尤其是岩体尖端，为外带。

应用因子—泛克里格模型对研究区的 1：20 万化探数据进行处理，实现了地球化学元素的空间定量组合求异及 DEM 三维表达。结果显示组合异常分为三个带。Ⅰ带出现在研究区的东南，临江市蚂蚁河乡到长白县的梨树沟一带，其出露地层为第四系玄武岩。元素组合以 Co-Mn-Ti 为主，显示在玄武岩覆盖下寻找 Co 矿的潜力很大。Ⅱ带出现在研究区的西南，临江市三道岔—花旗镇一带，元素组合以 As-Au-Sb 为主，显示该带是金矿的密集区。Ⅲ带出现在研究区中部，湾沟镇—闹枝镇—松树镇一带，元素组合为 Cr-Ni。该带异常揭示此带为与超基性岩、暗色火山

岩类有关的元素聚集过程。

三、在系统研究区域成矿规律及典型矿床研究的基础上，从地质、地球化学、地球物理三个方面总结归纳了白山地区金多金属找矿标志。白山地区金多金属矿成矿条件主要为：大地构造背景主要为华北板块北缘东段；岩浆岩条件为燕山期岩浆侵入活动形成的侵入杂岩体，主要以隐伏岩体形式分布；NW向区域断裂构造具长期活动的特点，是控制区域地质体分布的主要构造因素；赋矿层位主要为老岭群珍珠门组角岩夹薄层大理岩与厚层白云质大理岩接触带以及大栗子组含碳绢云千枚岩、含碳绢云千枚岩夹中薄层大理岩；区域地球重力场总体呈东南低、西北高的趋势，航磁以大面积出现的正磁异常为主；区域地球化学背景主要为白山地区金、钴、镍、铜、铅、锌等成矿及伴生元素衬值高，浓集中心明显。

通过成矿地质条件分析，认为白山地区金多金属矿与重力、航磁等资料反映的深部地球物理信息有一定的关联，地球化学异常信息也揭示了该区极具资源找矿潜力。

四、根据综合信息成矿预测理论，在研究区内进行中比例尺金矿资源预测及评价工作。根据找矿模型对研究区进行统计单元的圈定，共确定48 个统计单元，其中37 个预测单元；11 个已知单元。通过特征分析、聚类分析、数量化理论Ⅳ和逻辑信息法，对统计单元进行成矿有利度、矿产资源定位预测、定量预测，对研究区预测单元进行了综合评价。综合评价出白山地区金矿找矿的重点预测单元19处，指出32、39、43号预测单元为寻找金矿最重要远景区；8、9、17、22、26、30、31、46号预测单元具有一定的找矿前景，可以作为后续找矿工作的重点单元；4、5、14、15、16、27、34、37号预测单元与前两组单元相比成矿有利度较低，需要对单元做进一步的勘查工作，作为找矿的远景储备单元。为下一步的找矿工作提供了科学依据。

关键词：

矿产资源预测，地质空间变量，地球化学组合求异，DEM三维显示，定位定量预测

Abstract

Studies on Au-polymetallic Deposit Prognosis in Baishan Area

Major: Digital Geology Science

Academic advisor: Prof. Lu LaiJun

Author: Bi MingLi

Baishan area of Jilin Province has been designated as a city in transition resources, which is located in the eastern section of north China platform, forming an important part of the northern margin metallogenic belt of the plate. Although the ore-forming geological conditions of superiority in Baishan area, most of which are in the coverage area, it has been discovered fewer large-scale minerals , and there have been 40 types of metal deposits which are small, medium and large scale and complex-forming type. Therefore, it is a very difficult area of geological prospecting. However, with increasing difficulty of geological prospecting, the dozens of metel mines in 1950s and 1960s had been largely discontinued due to resource depletion. New resources are urgently needed to maintain economic development and social stability . In this case, enhance the gold metallogenic prognosis, studying geological background of mineralization, ore-controlling geological factors, and mineralization information are particularly important and urgent. It can provid future exploration direction for the near further prospecting.

Baishan region is imbalance in the level of geological research, Laoling region has higher degree of research in geological work ,but in the Changbai basalt area has the low level of research,and this is the major problem in geological prospecting of the area based on the collected the past 1:200,000 geophysics, geochemistry and other geological information in Baishan area, the paper focused on aeromagnetic and stream sediment data and other information on the latest methods of computer processing and integrated interpretation, developed a comprehensive information metallogenetic 1:20,000 scale forecast map of the district,and got the prediction of target delineation.The particular importance work is through the aeromagnetic data processing and interpretation, the author explained the identification of the entire Baishan region, especially the coverage area of basalt rock characteristics of the spatial distribution , structural framework and the regional characteristics of magmatic activity. Based on the logical study of the

geological variables, the variables principle of the extraction , reasonable assignment and the spatial relationship were made some useful attempts and given the model of quantitative and positioning prediction g. The paper's work and achievements are summarized as follows：

1. Geological data interpretation: based on geological research we can find that the region is exposed well in stratigraphy. Proterozic and Cenozoic basalts are much wider than others. Tectonic setting is mainly the eastern strike of the northern margin of the North China platform. Faults have the direction of NW, NE and NS ,specially the NW and NE to more development. In the regional tectonic movements happened with the magma multi-phase activities, relevant to the movement of Fuping and Wutai plutonic, the formation of the Mesozoic Indo-Chinese-Yanshanian movement in the acidic intrusive complex formation.

2. Geophysical and geochemical data interpretation: in this study we collected the 1:200,000 aeromagnetic data and stream sediment survey data to interprete deeper geophysical and geochemical information on the structural framework, magmatic rocks inferred.

Aeromagnetic data processing method is upward(20km, 10km, 5km, 2.5km) extension ,the direction of a different order derivation calculation and second derivation vertical calculation. Interpreted the aeromagnetic data from the magenetic point of view of the study area gold mineralization geological conditions, inferred from such phenomena as the structure, strata, intrusive rocks, extracted the aeromagnetic data information of the strata, intrusive rocks, structure from the interpreatation of the data ,inferred structure framework of the study through different heights relevance information ,inferred the typical formation ,instrusive complex 3D,which found a number of faults to the NW. Late this group faults is later than the North East structure ,and break the integtity of the North East stucture's.The North West tectonic controls the multi-metal ore deposit. Delineation of the location of buried rock, in particular, are found in the east-west basement control of the distribution of the basalt cap.

The author use Krieger method, F-Krieger method and SPSS methods to study the hydrographic sediment of geochemical data. Geochemical anomalies are identified by the method of factors - universal kriging, and using this method to implement the spatial quantitative association anomaly of element. Obtains in the area after the explanation the Au coefficient of variation to be bigger than 1.4, has the changeability .The Au changes

in the region is strong and show mineralization enrichment .47 gold abnormal regions had been circled , and their distribution have the characteristics of groups. Anomalies can be divided into the town of Banshi –Liudaogou and the town of Naerhong –Shengli . Abnormal distribution of Au distribute the edge of part of the substratum and the contaction zone of rock body. From the abnormal distribution of Au can be seen that NW tectonics control Au deposit .Au, Co, Ni element anomaly superimposed with high-value effects. Co, Ni is superior to Au, Co and Au in goodess of fit, Ni. It can be concluded that Co, Ni in the ore-forming process has the same genesis, but probably for different Au mineralization or ore-forming stage. Cu, Pb, Zn element has the effect of high-value stack. Cu anomalies centers are mainly in the rock mass for the inner zone, Pb, Zn for the outer, especially the rock art.

Make use of factor - F-Krieger method to study the area of 1:200,000 geochemical data, space quantitative combination of abnormal and three-dimensional DEM model were established. The results showed that abnormal portfolio is divided into three zones: Ⅰ District is located in the southeast, Mayi town of Linjian to Lishu town of Changbai, its exposed stratigraphy is basalt. Elements combination is Co-Mn-Ti, it revealed that under the basalt cover is great potential for finding Co ore. Ⅱ District is located in the southwest, Sandaocha town to Huaqi town of Linjian city. Elements combination is As-Au-Sb, it revealed that the band is the gold-intensive area.Ⅲ District is in the central of study area , Wangou-Naozhi-Songshu town. Elements combination is Cr-Ni. The band revealed that this abnormal band is a process of elements aggregation which is correct with ultrabasic rocks, mafic volcanic rock.

3. On the basis of study of the regional metallogenic regularity and the typical deposit, we summed up prospecting criteria in geology, geochemistry, geophysics. Gold ore-forming conditions mainly in Baishan are follows: Tectonic setting is mainly the eastern part of the northern margin of the North China plate. The magmatite condition is the formation of the Mesozoic Indo-Chinese-Yanshanian movement in the acidic intrusive complex formation. NW direction of regional fracture structure is the major structure factor controlling the regional geologic bodies' distribution, it has long-period activity characteristic. Fossil-rich strata is Zhenzhumen marble rocks of Laoling Group with thin-layer thick dolomitic marble contact zone as well as the Dalizi Formation carbon sericite phyllite, silk cloud carbon sericite phyllite thin folder marble. The Earth gravity field area shows low in the southeast and high in the northwest. Regional

geochemical charactetistic mainly are Au、Co、Ni、Cu、Pb and Zn having high background numerical value, having visible concentration core and folding the high value reciprocally.

Analyzed by the metallogenic geological condition, it is considered that Gold and its' polymetallic deposit correlating with deep-geophysical information which is reflected by gravitational and aeromagnetic materials, the geochemical abnormality information also openes out that resource potentiality is optimistic.

4. According to the theory of synthetic information mineralization prediction, the dissertation has made the large-scale gold mining prediction and evaluation in the study area. According to the prospecting model statistical units was delineated in the study area. It's delineated 48 statistical units totally, which has predicted 37 units and known 11 units. Prediction units has been evaluated through method of the cluster analysis, the number of Ⅳ and logical theory of information for the study area on the statistical units, study on favorable metallogenic, positioning prediction of mineral resources, quantitative prediction and estimates of resources. No. 32, 39, 43 are pointed out that the prediction for the most important long-term gold mine area; 8, 9, 17, 22, 26, 30, 31, 46 units have some prospect, you can work as a follow-up prospecting focus units; compared with the previous two units,4, 5, 14, 15, 16, 27, 34, 37 units are forming a favorable low, as long-term reserve prospecting units. This can be provided a scientific basis for the next phase of exploration in Baishan region.

Keywords:

mineral resources prognosis, geological space variables, geochemical composition anomaly, DEM three-dimensional display, orientation quantitative prediction