

文章编号: 1004—5589 (2010) 01—0071—07

吉林白山地区金矿综合信息找矿模型

李春华¹, 路来君¹, 毕明丽², 王淼³, 赵国磊¹

1. 吉林大学 地球科学学院, 长春 130061; 2. 长春工程学院 勘查与测绘工程学院, 长春 130021;

3. 吉林大学 综合信息矿产预测研究所, 长春 130026

摘要: 以吉林省白山地区金矿产为预测矿种, 以金矿床为目标物, 在前人对该地区地质研究成果的基础上, 系统分析了地层、岩浆岩和构造等地质条件与金矿产的关系, 查明了各种地质条件对金矿产的控制作用。同时利用地质、化探和物探等相关数据, 对该地区进行了金成矿综合信息矿产预测, 建立了以中元古代地层为主要成矿地层, 北东向和北西向断裂为主要控矿构造, 航磁解译环形构造和重力高背景场为主要成矿标志, 以及化探元素呈现三种组合异常等因素的吉林白山地区综合信息找矿模型。

关键词: 综合信息; 地质特征; 金矿; 找矿模型; 白山地区

中图分类号: P622.7; P618.51 **文献标识码:** A **doi** 10.3969/j.issn.1004-5589.2010.01.010

Sythetic information ore-prospecting model for gold minerals of Baishan area, Jilin

LI Chun-hua¹, LU Lai-jun¹, BI Ming-li², WANG Miao³, ZHAO Guo-lei¹

1. College of Earth Sciences, Jilin University, Changchun 130061, China;

2. School of Prospecting and Survey, Changchun Institute of Technology, Changchun 130021, China;

3. Institute of Synthetic Information Mineral Resources Prediction, Jilin University, Changchun 130026, China

Abstract: The authors analyzed the relationship between gold mine and geological conditions including strata, magmatic rocks, structure, etc. and identified the control action of various geological conditions to gold mine base on previous research results and taking the gold mine in Baishan area of Jilin as the prediction mine type and the gold deposit as the target. At the same time, the synthetic information ore-prospecting of gold mine has been forecasted in this area by geological, geochemical and geophysical data, and the authors have established the synthetic information ore-prospecting model in Baishan area of Jilin with Middle Proterozoic strata as the main ore-forming strata, the NE and NW trending faults as the main ore-controlling structures, and the aeromagnetic interpretation circular structure and gravity high background field as the main ore-forming signs with geochemical elements demonstrate three types of combination anomaly.

Key words: synthetic information; geological features; gold deposit; ore-prospecting model; Baishan area

白山地区位于吉林省东南部, 是重要的多金属成矿带 (图 1), 近年来有许多地质工作者对该地

区进行了大量的地质调查研究和资源勘探工作, 特别是对老岭成矿带的研究程度较深, 并积累了丰富的

收稿日期: 2009-12-02; 改回日期: 2010-01-12

基金项目: 吉林省“十二五”国土资源规划科技合作项目 (3R208D094422)

的地质资料,取得了一定的成果^[1-3]。目前已发现金矿床(点)多处,其中以小石人金矿和临江南大坡金矿最具有代表性^[4-7],但在区内矿产预测工作方面仍有不足之处。因此,在前人研究成果的基础上,笔者应用多元地学信息对全区进行中、大比例尺系统预测与综合研究分析,建立了吉林省白山地区金矿综合信息找矿模型,为今后该区金矿找矿提供参考。

1 区域地质背景

1.1 地层

区内发育地层以元古宇为主,中生界次之(图 1),其中元古宇以新元古界及中元古界为主。

中元古界 区内中元古代地层广泛分布,以变质杂岩为主,呈北东向展布。依据岩石组合该地层自下而上分为 5 个组:达台山组、珍珠门组、花山组、临江组和大栗子组。

新元古界 主要分为青白口系和震旦系,青白口系地层由砂岩、页岩、灰岩及泥灰岩构成,在区域上被分成白房子、钓鱼台和南芬 3 个组。震旦系由石英岩、碳酸盐岩和页岩构成,划分为桥头、万隆、八道口和青沟子 4 个组。

中生界 主要由三叠系—白垩系的陆相火山岩、火山碎屑岩及陆源碎屑岩构成,以老岭山脊西侧最为典型,地层由凝灰岩、砂砾岩和砂岩组成,自下而上分为侏罗系和白垩系^[4]。

1.2 构造

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^[1],其中以地槽发展阶段(太古宙—早中元古代)为主要演化阶段。区内以断裂构造为主,主要有鸭绿江断裂和本溪—通化断裂。鸭绿江断裂,亦称为集安—松江断裂^[1],呈北东向贯穿整个研究区,是区内最大的断裂构造系统。本溪—通化断裂带规模较大、活动性强,属大型断裂。二者构成了研究区地质构造的主要骨架。

1.3 侵入岩

区内侵入岩岩性分为基性—超基性岩、中性岩和酸性岩类。侵入时期为太古宙、元古宙、古生代和中生代。

太古宙侵入岩岩体主要由英云闪长岩、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;元古宙侵入岩岩体主要由花岗岩组成,于玄武岩地台中形成北东向的基底岩系出露带;古生代侵入岩岩体在区内出露较少;中生代侵入岩在区内广泛分布,受北方鄂霍茨克洋板块的挤压和古太平洋板块俯冲影响,造成上地幔岩浆上涌,从而形成了中酸性侵入岩体^[5]。

2 典型矿床特征

通过对荒沟山金矿、金英金矿、小石人金矿、淘金沟金矿、南大坡金矿和临江金矿等矿床的研究,得出带内金矿产出的地质构造环境相同,控矿条件相似,但矿化类型有一定的差异。根据矿石类型可将带内金矿分成:石英脉型金矿、蚀变岩型金矿和蚀变岩—石英脉型金矿。

石英脉型金矿 典型代表为临江南大坡金矿,产于珍珠门组或花山组地层中。近矿围岩主要是大理岩和片岩,围岩蚀变以硅化、绢云母化、黄铁矿化和碳酸盐化为主。矿石结构有粒状、浸染状和压碎结构等。矿石金属矿物成分有自然金、银金矿、黄铁矿、毒砂和黄铜矿等,非金属矿物有石英、方解石和绢云母等^[8-13]。成矿时期为燕山晚期,矿体规模变化较大,平均品位为 13.94 g/t,最高品位为 89.89 g/t,走向以北东向为主,倾向多为南东向,金矿呈脉状产出,是目前利用的主要类型。

蚀变岩型金矿 此类金矿以小石人金矿为代表,平均品位为 2.48 g/t,最高为 9.68 g/t,呈脉状产出,赋存在珍珠门组大理岩中,近矿围岩以角砾状白云质大理岩和硅质白云质大理岩为主。围岩蚀变类型简单,主要为硅化、赤铁矿化和碳酸盐化^[6]。矿石金属矿物主要有赤铁矿、黄铁矿、黄铜矿、毒砂、方铅矿和闪锌矿等,脉石矿物以石英方解石为主。成矿时期为燕山期,岩体为浅成小侵入体,这类金矿以品位低、规模大为特征。

二者间的过渡类型为蚀变岩—石英脉型金矿,以石青沟金矿为代表,目前处在普查阶段^[4]。

3 金矿成矿条件

根据资料,工作区金矿在成因上与老地层、多组断裂交汇及燕山中晚期岩浆活动关系密切,金矿生成在时间、空间上与控矿条件具有明显对应关系^[14]。

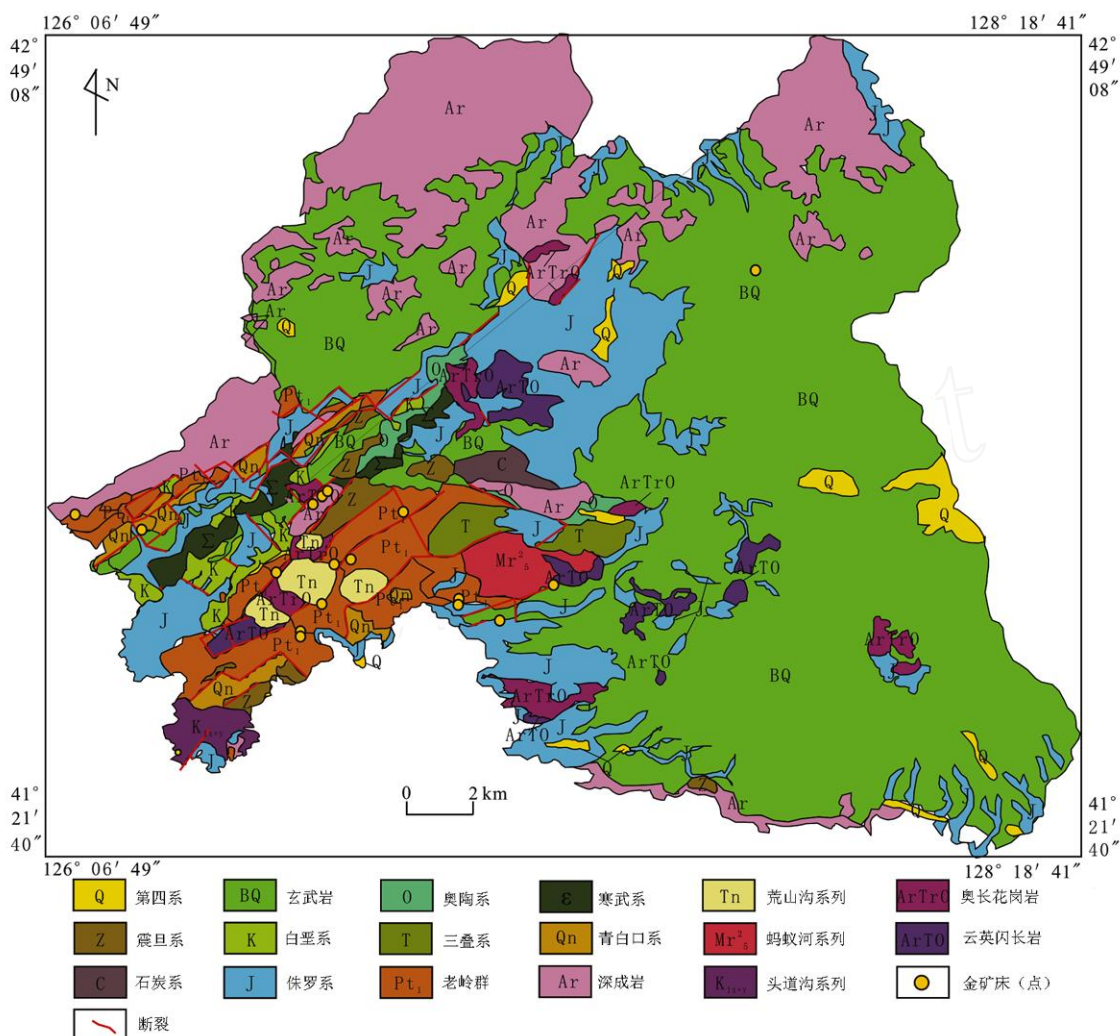


图 1 白山地区地质图

Fig. 1 Geological map of Baishan area

3.1 金矿地质特征

地层 区内老岭群是金矿成矿的主要赋矿地层，近 70% 的矿床（点）、矿化点产出在中元古界老岭群地层中，其中珍珠门大理岩具有较高的 Au 丰度值，产出的金矿数量最多，矿床储量相对较大，这与珍珠门组地层的岩性有关。矿化信息往往发生在角砾状白云质大理岩或厚层硅质白云石大理岩中，显示了层控矿床的特征，如南大坡金矿、小石人金矿、板庙子金矿和石青沟金矿均产在此地层中，资源量均 >10 t。

围岩 以大理岩为主，围岩蚀变主要是硅化（为白云质大理岩）、绢云母化、黄铁矿化、绿泥

石化、碳酸盐化、类砂卡岩化、赤铁矿化、黄铁矿化和重晶石化等^[15]。

侵入岩 侵入岩的侵入时期分为吕梁期和燕山期，其中燕山期侵入活动较强烈^[16-18]。吕梁期岩浆活动形成的岩体为金矿成矿活动提供了部分成矿物质，区域上 1:20 万和 1:5 万矿产调查都表明 Au 含量较高，其浓集系数 >1，岩石中的 Au 及伴生元素可以进入成矿热液参与金矿的成矿活动，成为成矿物质的供应者。

燕山期岩浆侵入活动与内生金属矿床成矿有密切关系，其成矿作用为成矿提供热液和物源^[7]。采自小石人矿区的石英斑岩岩石样品的微量元素测

试结果显示岩石中 Au 的平均含量为 20×10^{-9} , 是地壳丰度值的 50 倍, 为强富集型元素。

岩浆侵入活动不仅为成矿活动提供热源, 也为成矿提供成矿物质。中酸性侵入杂岩的分布与金矿产地的分布具有显著的空间相关性。金矿带与构造岩浆岩带处在同一空间位置, 均呈北东向展布, 但矿带宽度比岩浆岩带更宽大。金矿呈环状形式分布在酸性侵入岩的接触带上或附近。在分布范围内条件良好的情况下可形成金矿矿化集中区, 如天桥金矿集中区和小四平金矿集中区, 分布于八里坡隐伏岩体的西侧和东侧, 南大坡金矿和错草金矿集中区出现在老秃顶子岩体与错草岩体之间的窄长地段上。

构造 目前研究区内发现的金矿床 (点)、矿化点及金地化异常主要受北东向主断裂及北西向次级断裂控制。通过对航磁数据的处理分析, 得出断裂构造是白山地区金矿成矿的重要控矿条件, 尤其以航磁数据解释所反演出的深部断裂最为明显。断裂构造对金矿的形成、分布都起到了控制作用, 并对与金矿形成有关的地层和岩浆岩的分布起到控制作用^[19]。

(1) 断裂构造对金矿的直接控制作用

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。断裂构造与已知矿床 (点) 之间存在明显的空间相关性, 呈北东向分布。断裂构造的转折部位、多条断裂密集带、断裂破碎带由窄变宽的部位、分枝复合部位及主断裂与分支断裂交汇部位都是金成矿的有利位置^[20]。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, 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, 五道阳岔金矿、小石人金矿出现在北东向与北西向断裂交汇部位, 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部位。

(2) 断裂构造对金矿的间接控制作用

间接控制作用是通过在地层展布、岩浆活动侵入的分布控制实现的。断裂带控制了岩浆活动, 使之成带状分布。老岭群是金矿地层的控制因素, 其分布受到深大断裂的控制, 如老岭中脊北西侧老岭群被严格限制在大镜沟—大石棚断裂内, 呈窄带状, 石青沟金矿产在老岭群珍珠门组地层中, 而小石人金矿赋存的珍珠门组地层亦呈北东向展布。

3.2 区域地球物理特征

3.2.1 重力场特征

重力值为 $-30 \sim -90 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$, 总体为东南低、西北高的趋势, 呈北东向展布, 其高背景场内含已知矿床 (点) 占全区 80% 左右。重力场值的区域差异特征反映了莫霍面及康氏面的变化趋势, 曲线的展布特征则反映了现今地质构造及岩性特征^[7]。区内变质岩系重力场相对较高, 其岩体的边界通常是重力梯度带。

3.2.2 磁场特征

区内磁异常表现为: 磁化率一般为 $-320 \sim 780 \text{ nT}$, 以大面积出现的正异常为主, 位于南部地区, 负异常位于北部, 正、负异常之间梯度较大。区内磁场随变质岩系的岩石物质成分变化而变化, 闪长岩磁场较强, 花岗闪长岩磁场次之, 花岗岩磁场较弱, 岩石基性程度决定了磁场的强度, 即岩石基性越大, 其磁场强度越强。矿带及矿床的磁场特征一般显示为正负场交界带。负磁异常为矿体及围岩, 而正磁异常多为基性火山岩。

3.3 区域地球化学特征

3.3.1 元素地球化学参数特征

通过对本区 Au 元素原始数据处理, 得出全区 Au 元素的变异系数为 1.40, 元素含量变化幅度很大, Au 最高为 59.6×10^{-9} , 最低为 0.1×10^{-9} 。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。

3.3.2 元素地球化学场特征

区内的 15 万水系沉积物测量结果表明, Au 元素地球化学场与金产地和金元素异常分布有对应关系^[21]。金元素高背景场区内金产地占已知产地的 90%, 如小石人、石青沟、淘金沟和五道阳岔金矿均产于高背景区。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、1 个低背景区 (图 2)。高背景区包括石人镇—花山镇—十二道沟乡高背景区、靖宇县那儿轰镇—榆树镇高背景区、长白县东北岔乡—东小山高背景区、抚松县泉阳岛—胜利林场高背景区; 低背景区主要在长白、靖宇、抚松西南, 分布范围大。

4 金矿综合信息找矿模型及级别

所谓金矿找矿模型, 是对金矿控矿条件的高度

概括。综合信息找矿模型是在地质先验前提下，将地、物、化、遥等地学信息进行处理解释与关联，形成多维、多尺度的描绘与综合。

成矿带内金矿按产出状态分为石英脉型、蚀变

岩型、石英脉蚀变岩型 3 种。应用的资料精度主要是 1/5 万和 1/20 万比例尺，典型目标物是荒沟山金矿、南岔金矿和小石人金矿等，规模级别为矿床。

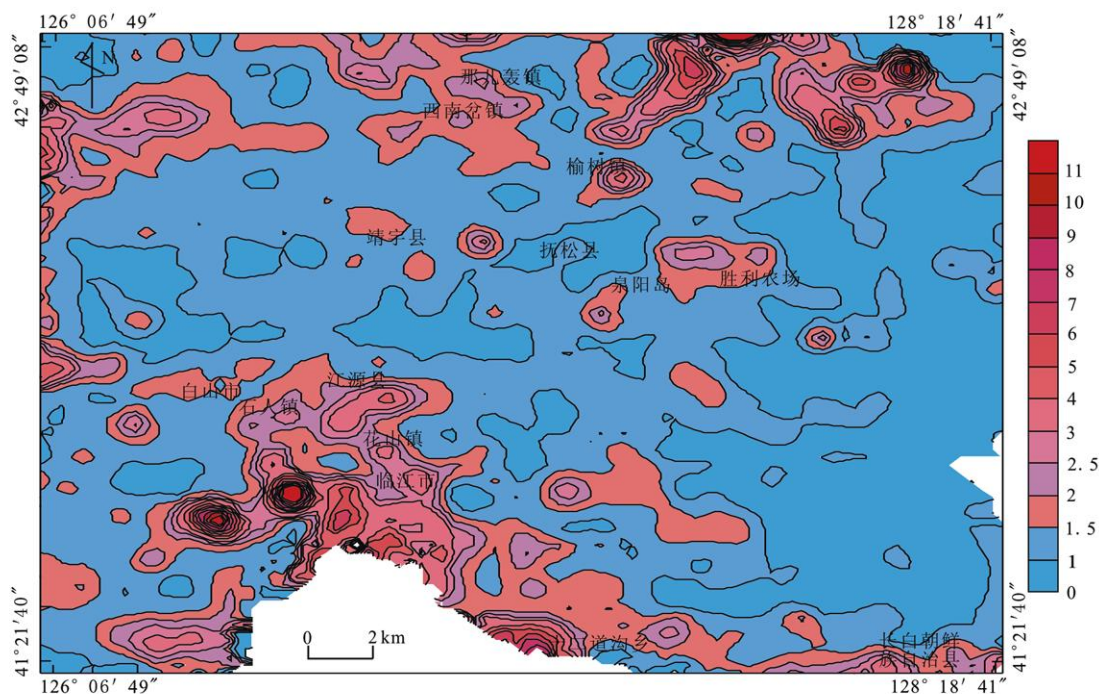


图 2 Au 元素地球化学背景图

Fig. 2 Geochemical background image of Au element

金矿综合信息找矿模型

对研究区已知矿床的地质、化探和物探数据特征进行分析，围绕金矿床构建了与之相应的地质描述模型、地球物理模型和地球化学模型^[22,23]。以金矿的控矿条件、矿化现象为目标将各类信息进行系统关联，探讨了各类信息之间的相关关系，进而建立了白山成矿带的金矿综合信息找矿模型。

矿床名称：脉状金矿

成矿时间：中生代燕山期

大地构造位置：华北板块北缘东段

地质标志

(1) 地层：主要有中元古界珍珠门组、花山组，地层走向北东，其中有利围岩为大理岩。

(2) 构造：区域性构造格架以北东向、北西向断裂构造为主。

(3) 岩体：燕山期岩浆侵入活动与内生金属矿床成矿密切相关，侵入深度为中深到浅。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等。

地球物理场标志

(1) 航磁：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、沿走向倾向变化部位及基底岩体与中酸性火山岩体交汇部位等。

(2) 重力场：矿体具极高密度、弱磁性，中高级化。地表异常具一定规模，有明显的重力（高）异常，有的出现局部弱磁异常，极化率异常较明显。

地球化学标志

根据该区目前掌握的金矿地球化学资料，1/20 万和 1/5 万水系沉积物 Au 地化异常是金矿矿化信息，也是金矿找矿的有用标志。

(1) 地化异常重现: 地球化学异常展布方向受北西向构造控制, 1/20 万与 1/5 万异常空间重现视为致矿异常, 所限定区域为成矿有利地段。

(2) Au 异常: 致矿 Au 异常规模大、强度高, 可达 20×10^{-9} , 形态不规则, 以多浓集中心为特征。

(3) 组合异常: 依单元素异常的空间相关性和统计相关性, 致矿组合异常有 Au、Ag、As、Sb、Hg、Cu、Pb、Zn、As、Cd、Sb、Hg、Au、Ag (Cu、Pb、Zn)、As、Sb、Hg、V、Mo、Co、Ni 等元素组合。

金矿矿化信息

(1) 已发现的金矿床 (点)、矿化点及采矿遗迹。

(2) 围岩蚀变: 硅化、绢云母化、黄铁矿化、绿泥石化、碳酸盐化、类砂卡岩化、赤铁矿化、黄铁矿化和重晶石化等, 其中黄铁矿与金矿矿化密切相关。

综合模型是对该区地质、地球物理和地球化学等多元地学信息进行一次关联与集成, 从中发现了该区金矿成矿具有特殊规律与找矿标志, 为该区今后金矿成矿预测与综合找矿提供了重要依据。

致谢: 感谢王世称教授、刘光胜副教授在本文数据处理与解译阶段给予的指导和帮助!

参考文献:

- [1] 吉林省地质矿产局. 吉林省区域地质志 [M]. 北京: 地质出版社, 1988: 577-579.
Geology Minerals Bureau of Jilin Province. Regional geology of Jilin Province [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1988: 577-579.
- [2] 翟裕生, 古大陆边缘构造演化和成矿系统 [C] // 北京大学国际地质科学学术研讨会论文集. 北京: 地震出版社, 1998: 769-778.
ZHA I Yu-sheng. Tectonic evolution of paleocontinental margin and ore-forming system [C] // International Geological Science Symposium of Beijing University. Beijing: Seismological Press, 1998: 769-778.
- [3] 孙忠实, 邓军, 冯亚民, 等. 吉林古陆成岩背景及边缘金构造—成矿系统 [J]. 地质地球化学, 2000, 28 (4): 1-6.
SUN Zhong-shi, DENG Jun, FENG Ya-min, et al. Paleocontinental diagenetic setting in Jilin and gold tectono-metallogenic system on paleocontinental margin [J]. Geology-geochemistry, 2000, 28 (4): 1-6.
- [4] 王诗元, 范继璋, 王森, 等. 吉林老岭成矿带金矿综合信息找矿模型 [J]. 吉林大学学报: 地球科学版, 2008, 38 (2): 211-216.
WANG Shi-yuan, FAN Ji-zhang, WANG Miao, et al. Ore-prospecting model of gold deposits in the Laoling metallogenic belt [J]. Journal of Jilin University: Earth Science Edition, 2008, 38 (2): 211-216.
- [5] 长春科技大学, 白山市黄金局. 小石人金矿普查报告 [R]. 白山: 白山市黄金局, 2002: 27-34.
Changchun University of Science and Technology, Baishan City Gold Bureau. Xiaoshiren gold census report [R]. Baishan: Baishan City Gold Bureau, 2002: 27-34.
- [6] 王诗元, 范继璋, 刘亚剑, 等. 地球物理探测方法在吉林江源地区小石人金矿勘查中的应用 [J]. 地质通报, 2007, 26 (7): 909-915.
WANG Shi-yuan, FAN Ji-zhang, LU Ya-jian, et al. Application of geophysical methods in exploration of Xiaoshiren gold deposit, Jiangyuan, Jilin, China [J]. Geological Bulletin of China, 2007, 26 (7): 909-915.
- [7] 关键. 吉林东南部贵金属及有色金属成矿规律研究: 博士学位论文 [D]. 长春: 吉林大学, 2004.
GUAN Jian. Study on metallogenetic law of precious and non ferrous deposits in the southeast part of Jilin Province: Ph.D dissertation [D]. Changchun: Jilin University, 2004.
- [8] 翟玉泉, 李守业, 刘连登. 小西南岔 11 号系脉型铜金矿体研究 [J]. 黄金, 2006, 27 (4): 15-18.
ZHA I Yu-quan, LI Shou-ye, LI Lian-deng. Research on the No. 11 lode gold orebody in Xiaoxinancha [J]. Gold, 2006, 27 (4): 15-18.
- [9] 周殿宇, 宋丙剑, 怀宝峰. 吉林汪清杜荒岭金矿地质特征及找矿标志探讨 [J]. 黄金科学技术, 2007, 15 (3): 11-14.
ZHOU Dian-yu, SONG Bing-jian, HUA I Bao-feng. Geological features and prospecting direction of Duhuangling gold deposit, Jilin [J]. Gold Science and Technology, 2007, 15 (3): 11-14.
- [10] 张甲忠, 贺景春. 夹皮沟金矿床韧性剪切带控矿作用的研究 [J]. 矿产与地质, 1992, 6 (3): 188-192.
ZHANG Jia-zhong, HE Jing-chun. The controlling factors of ductility shear zone to the gold deposit in Jaipigou [J]. Mineral Resources and Geology, 1992, 6 (3): 188-192.

- [11] 王泉, 李碧乐, 李伟实. 黑龙江省老柞山金矿床特征及找矿方向 [J]. 吉林地质, 2006, 2: 8-11.
WANG Quan, LI Bi-le, LI Wei-shi. The features and prospecting direction of Laozhuoshan gold deposit, Heilongjiang Province [J]. Jilin Geology, 2006, 2: 8-11.
- [12] 崔学武, 王晓勇, 金同和, 等. 吉东杜荒岭金矿区围岩蚀变与金矿化关系 [J]. 黄金地质, 2002, 8 (2), 36-39.
CUI Xue-wu, WANG Xiao-yong, JIN Tong-he, et al. Discussion on relationship of the wall rock alteration and the mineralization of gold deposit in the Duhuangling gold area, eastern Jilin [J]. Gold Geology, 2002, 8 (2): 36-39.
- [13] 蔡远江, 王翠娟, 赵琪. 吉林夹皮沟金矿集中区矿床深部的变化规律 [J]. 黄金地质, 2007, 7 (3): 37-41.
QI Yuan-jiang, WANG Cui-juan, ZHAO Qi. Variations in deep part of deposits in the Jiapigou gold assembled area [J]. Gold Geology, 2007, 7 (3): 37-41.
- [14] 陈毓川. 中国金矿床及其成矿 [M]. 北京: 地质出版社, 2001: 2-15.
CHEN Yu-chuan. The gold deposit metallogeny in China [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2001: 2-15.
- [15] 杨言辰, 于性贤. 吉林省浑江金矿成矿控制因素成矿远景研究 [R]. 浑江: 浑江市金矿, 1997: 43.
YANG Yan-chen, YU Xing-xian. Hunjiang gold ore mineralization controlling factors and mineralization prospect research in Jilin Province [R]. Hunjiang: Hunjiang Gold Ore, 1997: 43.
- [16] Saager R, Meyer M, Muffe R. Gold distribution in supracrustal rocks from Archean greenstone belts of southern Africa and from Palaeozoic ultramafic complexes of the European Alps: metallogenetic and geochemical implications [J]. Econ Geo, 1982, 77: 1-24.
- [17] 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.
LI Jun-jian, SHEN Bao-feng, MAO De-bao, et al. Metallogenic epochs of the Jiapigou gold deposit, Jilin [J]. Acta Geologica Sinica, 1996, 70 (4): 335-340.
- [18] 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.
SUN Zhong-shi, FENG Ya-min. Main mineralogenetic epoch, determine and exploratory direction of Jiapigou gold deposit, Jilin [J]. Acta Geoscientia Sinica, 1997, 8 (3): 155-162.
- [19] 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.
FENG Shou-zhong. Geology and metallogenic model of the Haigou gold deposit, Jilin [J]. Geology and Prospecting, 1999, 35 (1): 10-13.
- [20] 王世称, 成秋明, 范继璋, 等. 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: 10-12.
WANG Shi-cheng, CHENG Qiu-ming, FAN Ji-zhang, et al. Gold ore resources synthesis information appraisal method [M]. Changchun: Jilin Science and Technology Publishing House, 1990: 10-12.
- [21] 杨言辰, 叶松青, 冯本智. 吉南老岭荒沟山式热水沉积叠加改造型金矿床 [J]. 黄金, 1999, 20 (6): 1-4.
YANG Yan-chen, YE Song-qing, FENG Ben-zhi. The Huanggoushan typed hotwater deposition and superimposed reformation gold deposit in Laoling mineralization belt of South Jilin Province [J]. Gold, 1999, 20 (6): 1-4.
- [22] 陈昌勇, 李守义, 范继璋, 等. 华北地块北缘金银铜铅锌成矿系列综合信息找矿模型 [J]. 世界地质, 1999, 18 (1): 25-31.
CHEN Chang-yong, LI Shou-yi, FAN Ji-zhang, et al. The synthetic informational prospecting models of metallogenetic series of gold, silver, copper, lead and zinc in the northern borderland of North China massif [J]. World Geology, 1999, 18 (1): 25-31.
- [23] 赵震宇, 王世称, 许亚明, 等. 综合信息矿产预测理论在危机矿山资源预测中的应用思考 [J]. 世界地质, 2002, 21 (3): 283-299.
ZHAO Zhen-yu, WANG Shi-cheng, XU Ya-ming, et al. Application and research of theory of mineral resources prognosis of synthetic information in the crisis mine [J]. World Geology, 2002, 21 (3): 283-299.