

The Earth System Science Theory Guiding Role in Mineral Exploration—Take the Sandaowanzi Gold Deposit Exploration as an Example

Yaping Cao¹, Jun Lv^{2*}

¹Heilongjiang Institute of Geological Sciences, Harbin Heilongjiang

²Qiqihar Branch, Heilongjiang Institute of Geological Survey, Harbin Heilongjiang

Email: *qqlj1188@163.com

Received: May 3rd, 2017; accepted: May 17th, 2017; published: May 23rd, 2017

Abstract

The Sandaowanzi Gold is in the north greater Hinggan Mountains of a volcanic origin ore deposit of Yanshan epoch. The interior of the earth and the surface system are the results of joint action. This article demonstrates their relations with mineralization and guidance for exploration from the tectonic evolution, regional metallogeny, geophysics, geochemical, hydrogeology, engineering geology, environmental geology, resources industry economic evaluation petrology in the application of the ore deposit exploration and the geological exploration new technologies for example: Rope coring drilling, Computer graphics, High precision trace material analysis, to instruct the correlation between them.

Keywords

The Earth System Science, Earth Science Progress, Regional Metallogeny, Coupling, Mineral Exploration

地球系统科学理论在矿产勘查中的指导作用—以三道湾子金矿勘查为例

曹亚平¹, 吕 军²

¹黑龙江省地质科学研究所, 黑龙江 哈尔滨

²黑龙江省地质调查研究总院齐齐哈尔分院, 黑龙江 哈尔滨

Email: *qqlj1188@163.com

*通讯作者。

收稿日期: 2017年5月3日; 录用日期: 2017年5月17日; 发布日期: 2017年5月23日

摘要

三道湾子金矿是燕山期在大兴安岭北部形成的火山成因矿床, 是地内系统(岩浆、流体、地热等)和表层系统联合作用的结果。本文从大地构造演化、区域成矿学理论、岩石学、地球物理学、地球化学、水文地质、工程地质、环境地质、资源产业经济评价在该矿床勘查中的应用以及地球系统探测新技术如: 钻探绳索取心、计算机制图、高精度微量物质的测量方法与技术的应用等多方面来论证它们与成矿的关系及对勘查的指导作用, 以地球系统科学理论说明它们之间的相互联系。

关键词

地球系统科学, 地球科学进展, 区域成矿学, 耦合, 矿产勘查

Copyright © 2017 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

近些年来, 由于国际深海/大洋钻探计划 DSDP/ODP、国际地圈生物圈计划 IGBP 的实施, 对海洋、大气、生态和全球变化等科学研究取得重大进展, 地球科学研究也取得了很大进展, 通过对地球物理、地球化学、地球动力学和深部过程的深入研究, 发现地球上很多重大事件和自然现象是密切关联的。地球科学以整体的地球作为研究对象, 是由固体地球(核-幔-岩石圈)、流体地球(大气圈、水圈、土壤圈和生物圈)、社会地球(人类作用)和行星地球(太阳系-银河系)组成的一个开放的复杂巨系统, 称为地球系统。

地球系统是由一系列相互作用过程, 包括地球系统各圈层之间的相互作用, 物理、化学和生物三大基本过程的相互作用以及人与地球环境的相互作用联系起来的复杂的非线性多重耦合系统。使得地球系统科学作为一门全新的集成科学出现在当代国际科学的前沿[1] (刘本培, 2008)。

岩浆矿床、热液矿床和变质矿床主要是地内各子系统(构造、岩浆、岩石、流体.....)耦合作用而成的; 沉积矿床、风化矿床则是地球表层系统含生物圈、水圈、大气圈和太阳能综合作用的产物; 而火山成因矿床、喷流沉积矿床、热泉型矿床等则是地内系统(岩浆、流体、地热等)和表层系统联合作用的结果。因此, 成矿系统是依赖于其它地质系统而存在的, 是其它各系统在特定时空域中联动的耦合的产物[2]。

各类地质作用、各个层圈及亚层圈之间是相互作用的, 因此在进行找矿勘探过程中应将岩石圈、大气圈、水圈、生物圈有机的结合起来。不仅要考虑到岩石的成因类型、矿床的形成及类型、开采利用, 还要考虑到对环境的破坏和影响及产生的经济效益和社会效益。

2. 矿床地质特征

三道湾子金矿床位于黑龙江省黑河市爱辉区。矿床位于大兴安岭中段燕山期铜(钼)、铁(锡)、铅、锌、金、银成矿带东部。大地构造位置属大兴安岭湖盆系之扎兰屯-多宝山岛弧带东缘, 为活动大陆边缘陆相火山喷发环境, 是典型的浅成中低温热液矿床。矿区出露的地层主要为侏罗系中—上统塔木兰沟组(J_{2-3tm}), 粗安岩、安山岩、英安岩、火山角砾岩等。白垩系下统光华组(K_1gn)。岩石组合为流纹质含角砾凝灰岩、

火山角砾岩、凝灰岩、流纹岩等。区内出露侵入岩主要为晚三叠世中粒二长花岗岩。属成矿前岩体。另外, 矿区发育有辉绿玢岩脉、闪长玢岩脉和流纹斑岩脉, 未见蚀变、矿化, 岩石较新鲜, 为成矿期后脉岩, 对成矿有一定破坏作用。

3. 以全球演化和地球动力学为背景, 板块学说在在矿产勘查中的指导作用

找矿首先要选择大地构造背景有利的地区寻找。不同的大地构造背景有可形成不同类型的矿床, 不利的构造背景可能不利于元素成矿。作为地球科学基础的地球力学是以探讨地球旋转、运动规律及节律、岩石圈变动及板块运移为主要内容。板块学说的形成对岩石圈板块的现状进行了较为合理的划分, 对板块可能的运动方向进行了比较深入的研究。把大陆与海洋联系起来, 岩石圈各个板块在不同地质历史时期会向不同的方向运移, 并因而造成地震、火山活动, 形成山脉、平原与大洋盆地等地貌景观及矿床的形成[3]。

三道湾子金矿的形成是燕山期太平洋板块向欧亚板块俯冲在中国大陆东部濒太平洋地区的远程效应, 形成了大兴安岭火山岩带, 以及与火山活动有关的铜、金矿。根据黑龙江省陆内深大断裂及陆块之间的拼合的关系, 划分出四级构造带, 三道湾子金矿位于 IV 级是多宝山奥陶纪岛弧型活动带(I_1^{2b})内。见表 1。

4. 区域成矿学理论在矿产勘查中的指导作用

中国成矿区域划分为: I-古亚洲成矿域, II-秦-祁-昆仑成矿域, III-特提斯-喜马拉雅成矿域, IV-滨太平洋成矿域[4]。

中国东部古生代后的构造体制, 受到濒太平洋体系与特提斯-喜马拉雅体系新构造体制的改造和叠加。中国主体部分在印支期后均处于陆内构造背景下。中国东部在这一时期的主要地质事件有, 濒太平洋构造-岩浆岩带及拉张裂谷盆地系统的形成、陆内俯冲与焊接、岩石圈的巨大减薄作用等。已经拼接在一起的主要地台、地块间通过陆内碰撞而进一步焊接, 是燕山期中国东部构造发展的重要特点。燕山期库拉-太平洋板块向欧亚大陆俯冲在中国大陆东部濒太平洋地区的远程效应, 造成了走向 NE-SW 的巨型构造-岩浆岩带(175~40 ma, 峰期为 130~110 Ma 即早白垩世)。而恰好在这一时期, 中国东部的地质构造格局发生突变, 以东西向为主的构造体制转变为以北东向为主的构造体制, 中国东部地区岩石圈强烈减薄, 大规模的火山侵入岩浆活动频繁, 沉积盆地广泛分布, 还有显著的热液系统与水岩反应。受这些因素的共同作用, 导致了在中国东部中生代成矿大爆发。如在中国占主导地位的金矿主要形成在(120 ± 10) Ma 期内, 大量的 Cu、Pb、Zn、Ag、Hg、Sb、As 和部分 W、Sn、Mo 矿床形成在白垩纪。成矿的高强度、高密度和多样性是十分突出的、构成了中国东部乃至东中部的很多重要矿集区。此外、在环太平洋的大陆板块边缘也发生了强烈的火山岩浆活动。这样规模巨大的火山活动可能是造成同时期气候显著变化、大规模生物灭绝和热液活动速度加快等异常的一个重要原因[3]。

中生代以来, 由于滨太平洋(库拉)板块向欧亚板块俯冲, 使黑龙江省迭加了北北东向褶皱和断裂, 基底构造活化, 并有广泛的岩浆和成矿活动, 进入了成矿高峰期。燕山期成矿作用广泛而强烈, 除加里东期、华力西期、印支期活动带继续成矿外, 连稳定地块成矿作用也较明显。成矿作用与浅成侵入体及火

Table 1. Geotectonic zoning of the three gold deposit in Heilongjiang Province

表 1. 黑龙江省三道湾子金矿大地构造分区表

I 级	西伯利亚板块 I (古亚洲构造域)
亚 I 级	天山-兴安活动区 I_1
II 级	大兴安岭褶皱造山系 I_1'
III 级	大兴安岭早古生代陆缘增生构造带
IV 级	多宝山奥陶纪岛弧型活动带(I_1^{2b})

山作用有关。在大兴安岭地区, 形成了燕山期与中酸性侵入岩及火山岩有关的铁、铜、钨、银、金矿床。工作区属于罕达气—红业家铜、金成矿亚带[5] (IV-10, 见图 1)。划分如下:

I: 古亚洲成矿域;

II-1: 额尔古纳—兴安岭成矿带;

III-2: 大兴安岭中段华力西、燕山期铁、钨、银、金、钼、铜成矿带;

IV-10: 罕达气—红业家铜、金成矿亚带。

5. 岩石学在矿产勘查中的指导作用

火成岩-构造组合体现了构造环境与岩浆作用之间的内在联系。不同的构造环境具有不同的动力学条件、不同的岩浆源区特征和不同的热状态, 影响着岩浆的起源和演化机制, 因而对火成岩组合和化学特征具有制约作用, 形成不同的火成岩-构造组合, 进而又影响和制约着内生成矿作用, 构成一个统一的构造—岩浆—成矿动力学体系。因此, 正确鉴别火成岩-构造组合对大地构造和区域成矿的研究有重要的意义。

找矿实质上是找特殊的岩石, 岩石中某种物质成份达到工业品位就形成矿产。因此, 找矿首先应研究岩石。深源基性、超基性岩浆在向浅表环境就位时, 与地壳围岩发生同化混染, 喷出地表可形成安山质、粗安质岩石, 并能在同一构造岩石空间多次侵位, 使成矿所需热能充分供应和持续保存, 这很利于大型矿床的形成。实际上是地壳和上地幔之间的相互作用过程。

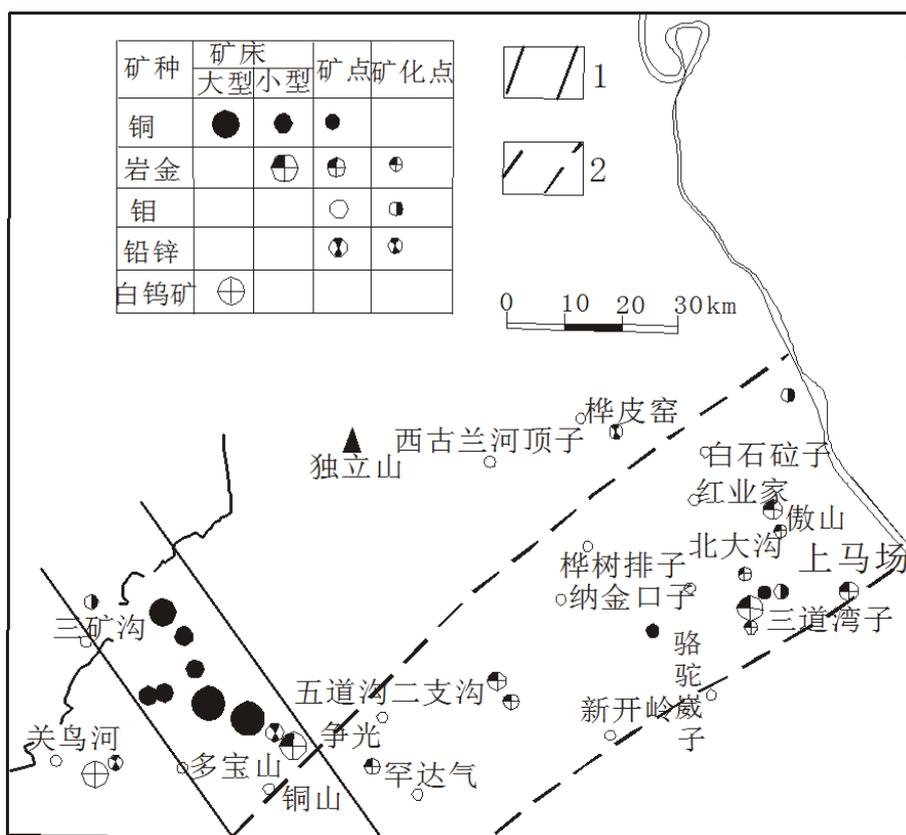


Figure 1. Deposits distribution in Handaqi-Hongyejia copper and gold Ore-forming subzone; 1- copper Ore-forming subzone; 2- gold Ore-forming subzone

图 1. 罕达气—红业家铜、金成矿亚带矿产分布图; 1-Cu 成矿(区)带; 2-Au 成矿(区)带

通过野外观察和室内光薄片分析及样品分析测试, 该矿区出露的地层主要为: 侏罗系中—上统塔木兰沟组($J_{2,3tm}$), 粗安岩、安山岩、英安岩、火山角砾岩等。白垩系下统光华组(K_{1gn})。岩石组合为流纹质含角砾凝灰岩、火山角砾岩、凝灰岩、流纹岩等。区内出露侵入岩主要为晚三叠世中粒二长花岗岩。含矿岩石为北西展布的石英脉, 沿张裂隙分布。其围岩为粗安岩、火山角砾岩等。偏碱性岩石组合对金成矿极为有利[6]。

6. 地球化学在矿产勘查中的指导作用

找矿需要在某种元素含量高也就是有异常的地方寻找, 地球化学异常是找矿的主要标志之一。根据黑龙江省黑河一带 1:20 万水系沉积物测量资料, 金元素地球化学场分布特征为高背景场主要分布在罕达气到三道湾子北东向成矿带, 与新开岭深断裂带吻合, Au 表现为正常偏高的地球化学背景场(见图 2)。并有多处水系沉积物金异常出现。因此选择该区做为找矿靶区进行土壤地球化学测量工作。

经过土壤地球化学测量工作圈定了多处异常[7], 其中 01Ht-2 异常成矿远景分类为甲₂类, 为已知的矿致异常, 以 Au-3 异常为主, 各元素异常套合较好。尤其是 Au-3 异常与 Ag-3 异常套合最佳。Au-3 异常面积达 0.45 Km², 呈不规则带状, 北西向展布, 具 3 处浓集中心。异常点数为 45 个, 极大值 650×10^{-9} , 平均值 70.2×10^{-9} , 衬度 13.00, 规模 5.850, 具内带。经工程验证, 在 Au-3 异常浓集中心内, 发现 5 条北西向展布的含金石英脉带、22 条金矿体。金矿体与异常浓集中心吻合较好(见图 3)。含金石英脉金矿化连续、稳定, 品位最高达 84.58×10^{-6} , 金矿体平均品位为 9.09×10^{-6} 。已圈定内蕴经济资源量(333) 10 余吨。

另外, 在岩石地球化学方面提供了各种地质过程的重要信息。

流体包裹体方面: 三道湾子金矿流体包裹体样品均采自矿体及强蚀变岩石, 石英中原生包裹体十分发育, 流体包裹体直径一般 2~9 μm , 多为气液盐水包裹体, 少量液相盐水包裹体。包裹体均一温度平均值变化范围为 181°C~267°C, 流体包裹体盐度 ωt (NaCleq)变化范围为 15.6%~16.9%, 平均 16.1%, 盐度中等。由石英包裹体均一法测温直方图可以看出成矿温度主要在 250°C~290°C 之间。将所得到的温度、压力和密度数据投入 T- ρ 相图[8], 得到包裹体的形成时的压力大约为 $30\sim 50 \times 10^5\text{Pa}$, 平均为 4 MPa。根据 2000 年孙丰月等关于脉状热液矿床形成深度和压力分段拟合公式, 计算其成矿深度为 0.4 Km, 为浅成深度矿床。

稳定同位素(H、O、S)地球化学方面: 地球上硫同位素主要有 3 个储存库, 一是幔源硫($\delta^{34}\text{S} = 0 \pm 3\%$), 二是海水硫, 现代海水中 $\delta^{34}\text{S} \approx 20\%$; 第三种是沉积物中还原硫, 这种硫的同位素主要以具有较大的负值为特征[9]。用黄铁矿 $\delta^{34}\text{S}$ 值近似代表了成矿流体中全硫的 $\delta^{34}\text{S}$ 值, 分析结果表明, $\delta^{34}\text{S}$ 值为 $-1.1\% \sim 1.7\%$, 极差 2.8‰, 均值为 1.1‰, 分布范围显示具有幔源硫同位素组成特点, 接近陨硫硫[8] [9]。表明 S 来源于地幔, 地球内外层圈及大气圈已相互作用。

三道湾子金矿含金石英脉氢氧同位素测试结果显示: $\delta^{18}\text{O}_{\text{V-SMOW}}\%$ 变化范围: $-2.3 \sim -0.2$, $\delta\text{D}_{\text{V-SMOW}}\%$ 变化范围: $-110 \sim -85$ 。采用 1972 年 Clayton 分馏方程: $1000 \ln \alpha_{\text{石英-水}} = 3.38 \times 10^6 \text{T}^{-2} - 3.4$ 计算获得的 $\delta^{18}\text{O}_{\text{水}}\%$: $-15.3 \sim -9.9$ 。所有 $\delta\text{D}_{\text{V-SMOW}}\%$ 均低于 -85 , 与本区中生代雨水和现代雨水的组成相近[10], 反映成矿流体明显受大气降水的影响。在 $\delta\text{D}_{\text{Snow}} - \delta^{18}\text{O}_{\text{水}}$ 关系图上, 投影点落在大气降水线附近, 表明成矿流体主要由大气降水组成[10] [11]。表明大量大气降水的加入, 大气圈与岩石圈相互作用。

7. 地球物理学在矿产勘查中的指导作用

地球深部不同物质成份有着物性的差异, 深部磁场、电场等的变化对找矿有着一定指导意义。从大的范围看, 北东向展布的航磁梯度带与大兴安岭火山岩带吻合。根据三道湾子金矿为石英脉型的特点选择了电法和磁法测量来判别矿体与围岩的差别, 从三道湾子金矿床视电阻率(ρs)剖面平面图上可以看出(图 3),

高阻异常呈北西向展布, 除南侧高阻区由地形引起外, 其余主要为含金石英脉及硅化带引起。从 246 线综合剖面上可知(图 4), ΔT 、Th 曲线同步起伏, 异常规律相似, 石英脉、硅化带呈低磁的特征; 石英脉均无 η_s 异常反映, 这与岩矿石物性结果一致; 石英脉、硅化带 ρ_s 值较高, 呈明显的高阻特征, 同时还可以看出在石英脉倾向一侧 ρ_s 曲线较缓, 反倾向方向 ρ_s 曲线较陡。

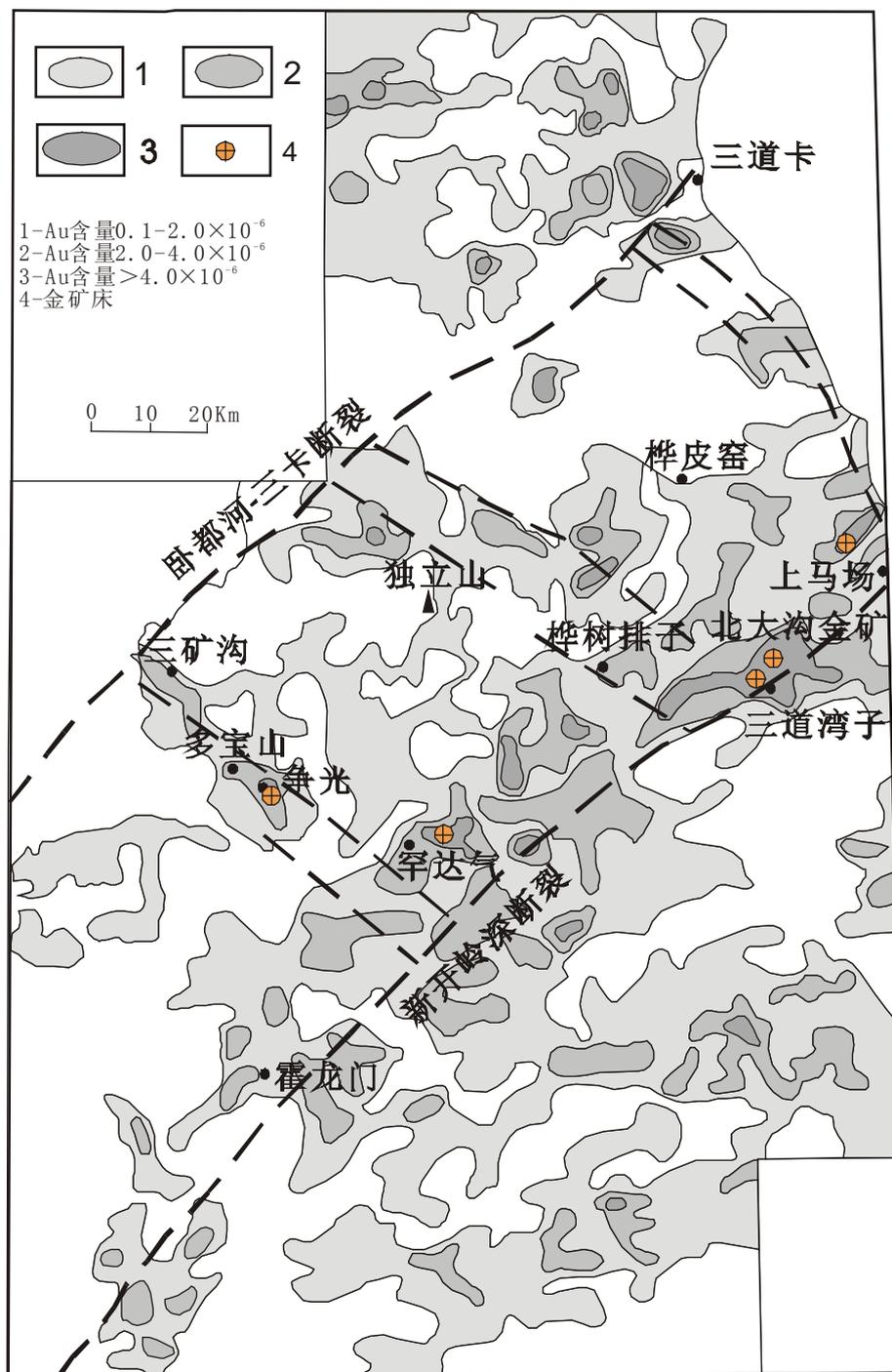


Figure 2. The geochemical map of Duobaoshan-Sandaowanzi Ore-forming belt
图 2. 多宝山-三道湾子-带金元素地球化学场图

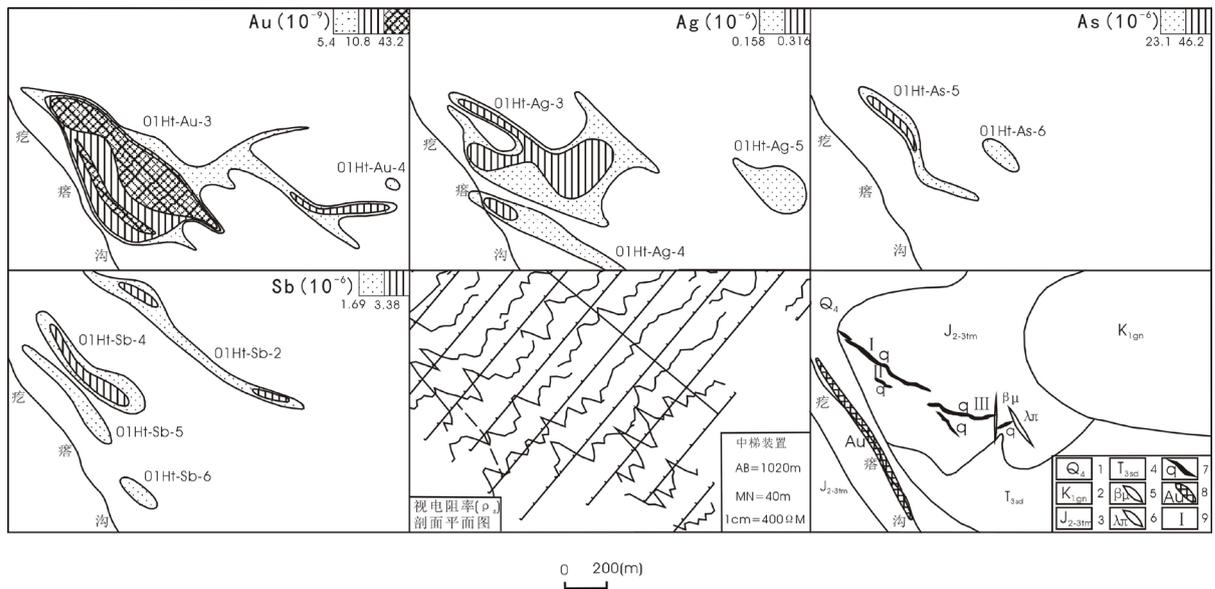


Figure 3. Geological-geophysical-geochemical map of the Sandaowanzi gold deposit; 1-Quaternary; 2-Cretaceous Guanhua Formation rhyolite; 3-Jurassic Tamlangou Formation trachyandesite; 4-Indosinian granite; 5-Porphyrite Dike; 6-Rhyolite porphyry; 7-Quartz (Gold deposit); 8-Placer; 9-The number of gold ore belt
图 3. 三道湾子金矿地质-地球物理-地球化学异常图; 1-第四系; 2-白垩系光华组流纹岩; 3-侏罗系塔木兰沟组粗安岩; 4-三道湾子单元二长花岗岩; 5-辉绿玢岩脉; 6-流纹斑岩脉; 7-含金石英脉(金矿体); 8-砂金矿体; 9-金矿带编号

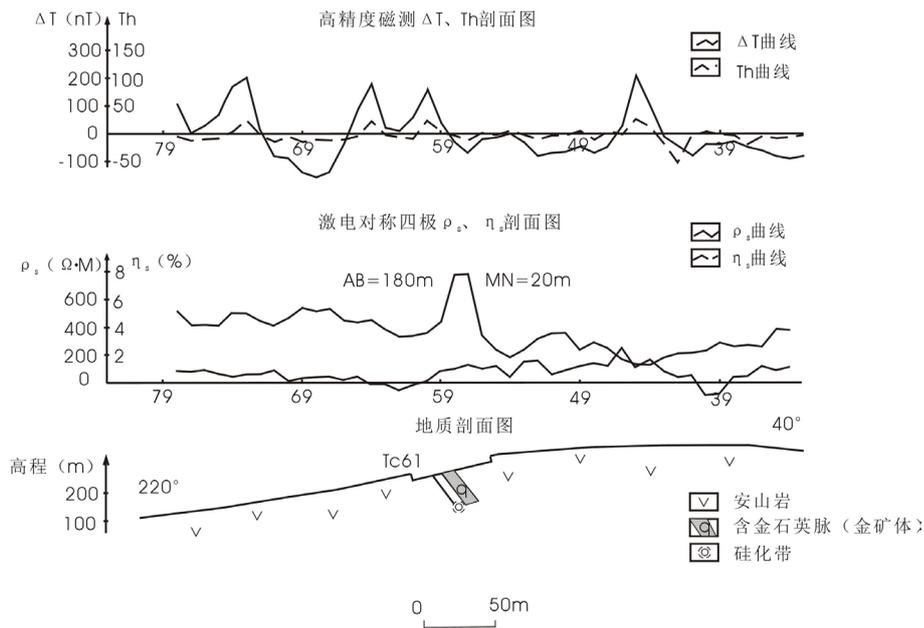


Figure 4. The 246 profile of the Sandaowanzi gold deposit
图 4. 三道湾子岩金矿 246 线综合剖面图

8. 水文地质、工程地质、环境地质在矿床勘查中的应用

通过水文观测及水质分析, 该矿区水化学类型 $\text{HCO}_3\text{-Ca-Mg}$ 型。地下水、地表水环境质量较好, 大于国家水环境质量 III 类水标准。矿区生产活用水问题可以解决。当开采地表水侵蚀基准面以下的矿体时, 应密切注意张性断裂, 严防地表水直接溃入坑道, 淹没矿体的现象发生, 用于指导矿床开采和矿区生

活用水。

该矿区位于高寒的低山-丘陵地貌区,受第四纪冰期和现代寒冷气候的影响,发育多年冻土和季节性冻土,由于季节性冻土随季节性发生冻胀和消融,引起不良工程地质现象,如河谷中的冰丘、道路翻浆等。人类活动使多年冻土层退化、加剧了不良工程地质作用的发生,在采矿工作中应引起注意。根据黑河地区地震局资料,矿区范围内为地震烈度 VI 度区,近期无地震记载新构造运动不明显,区域地质环境稳定性较好。

矿石和围岩中的有害元素砷、汞均没有超过标准,未发现其它对有害元素、气体和放射性物质。选矿过程中做好氧化物的回收利用,避免渗漏,不会对人和环境造成危害。不仅要考虑当前的利益,还要考虑到可持续发展。

9. 资源产业经济评价在矿产勘查中的应用

对三道湾子金矿床的可选矿性试验研究分析,认为该矿床矿石矿物组成简单,较适合采用全泥氰化流程处理,且矿石的浸出速度快,浸出率为 95.07%,属易浸矿石,并推荐全泥氰化-炭浸工艺流程。

经过对企业效益的动态和静态分析后认为:三道湾子岩金矿项目生产能力为 200 吨/日,年平均获得税后净利润 2160 万元,服务年内企业累积实现税后净利润 19,478 万元,说明该项目盈利能力较强。按基准收益率 10%计算本项目财务净现值为 10,966 万元,财务内部收益率为 57.6%,远远高于行业基准收益率,说明本项目经济效果较好。含建设期的投资回收期为 2.4 年,小于该项目的基准投资回收期(5 年),说明本项目具有较强的偿还能力。社会效益方面:该项目的实施国家、地方将累积获得资源税 117 万元,企业所得税 9594 万元,累积上交资源补偿费 1810 万元,同时形成 15,979 万元的消费,安排百余人就业,将会拉动当地许多产业的发展。可见本项目的社会经济效益较大,具可持续发展性。

10. 新的技术手段矿床勘查过程中的应用

在矿床勘查过程中新技术的应用如:地球物理探测技术、钻探绳索取心、计算机制图、扫描电镜、高精度微量物质的测量方法与技术大大提高工作精度和效率。钻探绳索取心

提高钻探岩心采取率,工作效率;计算机制图不仅提高工作效率,还提高图件的精度、美观及资源量计算的准确性;扫描电镜的应用发现深部金品位较高地段金的赋存状态主要以碲化物为主[12],发现了新的矿化类型,该发现对于在附近寻找碲金矿有一定的指导意义。高精度电法和磁法的应用对于探测深部物性差异和找矿有指导意义。

11. 结论

三道湾子金矿的形成是通过地幔和地壳的相互作用,大气圈与岩石圈的相互作用,伴有大规模大范围的热源,通过地质作用、物理作用、化学作用、生物的作用形成的。板块学说和区域成矿学理论在找矿过程中起到了指引大方向的作用;岩石学起到了具体岩性的指示作用;地球化学、地球物理学勘查方法起到寻找靶区的作用;水文地质、工程地质、环境地质则对矿床开采的技术条件进行了评价;资源产业经济评价则对矿床的开采后的经济效益进行了评价。总之,人类进行矿产勘查和利用该矿时也应全面考虑,不仅要考虑到它的形成、勘探及利用它的有用组份,考虑到经济意义和社会效益,还要考虑其中的有害物质、开发利用对环境的破坏和影响及可持续发展。因此地球科学进展及地球系统科学理论在找矿勘查中起着重要的指导作用。

基金项目

黑龙江省矿产资源补偿费项目(SD2002-29)资助。

参考文献 (References)

- [1] 中国地质大学(北京)研究生院. 地球科学进展[M]. 北京: 地质出版社, 2006: 1-227.
- [2] 翟裕生. 地球系统科学与成矿学研究[J]. 地学前缘(中国地质大学,北京), 2004, 11(1): 1-10.
- [3] 岳来群. 试论当今地球科学的某些新进展及其现实意义[J]. 福建地质, 19(3): 153-160.
- [4] 翟裕生, 彭润民, 向运川, 等. 区域成矿研究法[M]. 北京: 中国大地出版社, 2004: 1-183.
- [5] 韩振新, 徐衍强, 郑庆道. 黑龙江省重要金属矿产和非金属矿产的成矿系列及其演化[M]. 哈尔滨: 黑龙江人民出版社, 2005: 1-241.
- [6] 张佩华, 赵振华, 包志伟, 等. 碲成矿机制研究新进展[J]. 地质科技情报, 2000, 19(2): 55-58.
- [7] 刘斌, 沈昆. 流体包裹体热力学[M]. 北京: 地质出版社, 1999: 1-290.
- [8] 吕军, 王建民, 王洪波, 于荣文, 张大鹏. 土壤地球化学测量在三道湾子金矿床的应用[J]. 物探与化探, 2005, 29(6): 515-518.
- [9] 吕军, 王建民, 岳邦江, 等. 三道湾子金矿床流体包裹体及稳定同位素地球化学特征[J]. 地质与勘探, 2005, 41(3): 33-37.
- [10] 武子玉, 王洪波, 徐东海, 等. 黑龙江黑河三道湾子金矿床地质地球化学研究[J]. 地质论评, 2005, 51(3): 264-267.
- [11] 张理刚. 稳定同位素在地质科学中的应用[M]. 西安: 陕西科学技术出版社, 1985: 1-452.
- [12] 陈美勇, 刘俊来, 胡建江, 等. 大兴安岭北段三道湾子碲化物型金矿床的发现及意义[J]. 地质通报, 2008, 27(4): 584-587.

期刊投稿者将享受如下服务:

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: ojs@hanspub.org