

分 类 号: P622+.6
研究生学号: 2008612047

单位代码: 10183
密 级: 公开



吉 林 大 学

硕士学位论文

黑龙江省塔河县宝兴沟金矿床成矿地质条件及找矿潜力分析

Analysis on Ore-forming Geological Conditions and Prospecting
Potentiality of Baoxinggou Gold Deposit
in Tahe, Heilongjiang Province

作者姓名: 李向文

专 业: 矿产资源经济与技术

研究方向: 矿产资源勘查与开发技术

指导教师: 杨言辰 教授

培养单位: 地球科学学院

2010 年 5 月

黑龙江省塔河县宝兴沟金矿床成矿地质条件
及找矿潜力分析

Analysis on Ore-forming Geological Conditions and
Prospecting Potentiality of Baoxinggou Gold Deposit
in Tahe, Heilongjiang Province

作者姓名：李向文

专业名称：矿产资源经济与技术

指导教师：杨言辰 教授

学位类别：工学硕士

答辩日期： 年 月 日

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(或硕士)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： 矿产资源经济与技术

论文题目： 黑龙江省塔河县宝兴沟金矿床成矿地质条件及找矿潜力分析

作者签名：

指导教师签名：

年 月 日

作者联系地址（邮编）： 吉林省长春市建设街 2199 号，130061

作者联系电话： 0431—88502131

提 要

宝兴沟金矿地处天山-兴蒙造山带、大兴安岭火山岩带东北部上黑龙江拗陷腰站断陷南缘与十八站隆起北缘交接部位。矿体产出于闪长玢岩、辉绿玢岩、花岗细晶岩与二十二站组砂岩接触带中，目前已发现矿化蚀变带 4 条，破碎蚀变岩型金矿体 13 条，储量规模达到中型。本区成矿地质条件优越，找矿标志明显，具备较好的找矿潜力。

本文从成矿地质背景分析入手，深入研究矿床地质特征、地球化学特征，分析成矿地质条件，厘定成矿岩体的形成时代，探讨矿床成因，建立成矿模式；根据成矿地质条件与地质、地球物理、地球化学等找矿信息研究，确定找矿方向，优选后续勘查工作靶区，预测找矿潜力。研究成果对指导该矿床乃至该地区类似矿产的勘查工作具有重要理论与实际意义。

关键词：矿床地质特征、地球化学特征、成矿条件、找矿潜力、宝兴沟金矿

目 录

第 1 章 前 言.....	1
1.1 自然地理概况	1
1.2 选题依据及意义	1
1.3 研究方法及技术路线	3
1.4 完成工作量及取得主要成果	4
第 2 章 成矿地质背景.....	6
2.1 大地构造背景	6
2.2 区域地质特征	7
2.3 区域地球物理、化学特征	12
第 3 章 矿床地质特征.....	15
3.1 矿区地质特征	15
3.2 矿体特征	18
3.3 矿石特征	22
3.4 围岩蚀变	25
第 4 章 矿床地球化学特征.....	27
4.1 主量元素地球化学特征	27
4.2 稀土元素地球化学特征	29
4.3 微量元素地球化学特征	32
第 5 章 成矿地质条件及成因探讨.....	41
5.1 地层条件	41
5.2 岩浆岩条件	42
5.3 构造条件	43
5.4 矿床成因	44
第 6 章 找矿潜力分析.....	48
6.1 找矿信息	48
6.2 组合异常的圈定	54
6.3 潜力评价	54
第 7 章 结论与建议.....	54
参考文献.....	54
中文摘要.....	54
ABSTRACT.....	54
致 谢.....	54
导师及作者简介.....	6

第1章 前言

1.1 自然地理概况

研究区隶属于黑龙江省塔河县十八站鄂伦春自治乡管辖,距十八站林业局75千米,北距双河自然保护区5千米,有防火公路在工作区通过,交通较为便利。

研究区位于大兴安岭东北端,地势南高北低,海拔高度为300—400米,最高为432.6米,相对高差100—200米,属低山丘陵区。区内水系发育,沟谷纵横。区内为北寒温带大陆性季风气候,四季气温变化较大。冬季长达7个月,漫长而寒冷,一般在每年9月中旬至翌年5月中旬为冻结期,最低温度可达-45℃。夏季短暂而炎热,雨季多集中于7、8月份,最高温度可达35℃。冬长夏短,地表深1.0米以下永冻层普遍发育。

1.2 选题依据及意义

1.2.1 矿产勘查与研究现状

工作区由于植被覆盖厚,地质工作程度较低。

1981—1988年黑龙江省地质矿产局对龙站河、富拉罕河开展砂金普查和区域地质调查工作,提交D级砂金储量1626千克;圈定了龙站河、宝兴沟、十五里桥三处金成矿远景区。

1995年黑龙江省地质矿产局第二区域地质调查大队在该区开展1:2万金土壤测量工作,圈定金异常8个、成矿靶区2处。

2002年武警黄金第三支队在该区开展水系沉积物测量工作,圈定了9处金异常,其中有望异常4处,并提交了《黑龙江省塔河县、呼玛县宝兴沟-依西肯水系沉积物测量报告》。

2005-2006年武警黄金第三支队预查组对宝兴沟-依西肯水系沉积物测量异常开展异常查证工作,在Au-VI号水系异常北东发现蚀变砂岩,捡块取样分析金品位最高 2.14×10^{-6} ,Au-V号异常内的蚀变砂岩品位 0.36×10^{-6} - 0.38×10^{-6} 。

2007年以来武警黄金第三支队在该区开展岩金普查工作,投入的主要工作量:槽探21135立方米,钻探2204米,1:1万土壤测量22.5平方千米。截止

2009 年研究区内共发现金矿化蚀变带 4 条，圈定金矿体 13 条，累计估算推断的内蕴经济资源量（333）3051 千克，累计估算预测资源量（334）4246 千克。

1.2.2 存在的主要问题

（1）矿床基本特征研究有待深入。目前主要根据探矿工程连接矿体，所圈定的矿体的形态、规模、产状是否合理，有待进一步研究。

（2）成矿地质条件研究不够。根据现有勘查研究结果，可以确定金矿成矿与岩浆活动关系密切，矿（化）体受北东向、北西向断裂控制。但因该区残坡积物覆盖较厚，对岩体的边界、产状控制不够，岩体与成矿的空间关系有待进一步研究。

（3）矿化时空分布规律研究亟待深化。西部矿带金矿（化）体主要分布于土壤组合异常外侧边界，反映土壤地球化学元素迁移规律，而东侧矿带矿体却分布于组合异常的中部，预示在西部异常的中部，东部异常外侧边界可能存在矿体或矿化体；

（4）找矿潜力评价需要深入开展。随着矿产勘查程度的不断加深，有必要开展地质、地球物理、地球化学标志与信息的综合研究，评价研究区找矿潜力，指导矿区后续勘查工作顺利进行。

1.2.3 选题依据及研究意义

宝兴沟金矿床是近年新发现的中型矿床，与砂宝斯金矿（大型）、三十二站金矿等产出环境较为相似，具有较大找矿潜力。由于是新发现矿床，其综合研究程度有限，对矿床地质特征、地球化学特征、成矿地质条件及矿床成因等方面研究尚未系统进行，而这些问题恰好是制约该矿床扩大规模、增加储量的关键因素。系统研究宝兴沟金矿床的地质特征、地球化学特征和地球物理特征，分析成矿地质条件，总结矿化富集规律，对指导该矿床的勘查具有重要的理论和实际意义。

作者有幸跟随导师参与地调局项目“黑龙江两岸金、多金属成矿带成矿地质条件与成矿规律对比研究”等项目的研究工作，根据论文研究和勘查生产相结合原则，确定以“黑龙江省塔河县宝兴沟金矿床成矿地质条件及找矿潜力评价”为论文选题，采用野外地质调查与室内综合研究相结合手段，地质、地球物理和地球化学多学科交叉的方法，从成矿地质背景入手，系统研究矿床地质特征、地球化学特征、成矿地质条件与矿化标志，确定成矿作用特征及成因类型，预测研究区成矿有利地段及储量规模，优选找矿靶区并对其找矿潜力进行评价，以期为该矿床的进一步勘查提供技术依据。

1.3 研究方法及技术路线

论文研究工作将在新的成矿理论与矿产勘查理论指导下,采用野外与室内相结合,多学科交叉的研究手段,并利用新的技术与方法进行综合研究。

1.3.1 野外地质调查

(1)槽探与钻探地质编录:通过探槽、钻探编录,研究矿体的形态、产状、规模及空间分布特征。

(2)典型地质现象观察与照相:对典型的地质现象,特别是反映地层、构造、岩浆岩与矿体空间关系的地质现象进行详细的观察和照相。

(3)采集岩矿标本和化学样品:针对矿床的成因、成矿机制研究所需要的地球化学证据,采集岩矿标本和分析样品。

(4)路线地质调查:对区内及外围进行全面踏勘,以了解成矿地质背景与矿化特征,适当采集关键地段有代表性地质、矿化现象的岩矿标本,并进行必要的岩矿鉴定和分析测试。

1.3.2 室内研究

(1)光薄片鉴定:通过光薄片鉴定来分析矿石矿物的组成及结构、构造特征,划分成矿期及成矿阶段,研究划分蚀变期次、类型及其与成矿的关系。

(2)成矿物质来源的研究:通过各种分析,测试数据,包括常量元素、微量元素、稀土元素等,结合原生晕分析结果,探讨成矿物质来源。

(3)成矿年龄的测定:采用先进的测年技术ICP-MS确定成矿时代。

(4)成矿地质条件研究:根据野外调查及测试分析资料,综合研究二十二站组砂岩、燕山期闪长玢岩、花岗细晶岩及断裂构造在时间上、空间上对矿体的控制特征,总结金矿化的时空分布及组合规律,为找矿潜力评价提供依据。

(5)找矿潜力分析:采用科学合理的预测方法评价找矿潜力。

1.3.3 技术关键

(1)认真细致的野外调查是成矿地质条件与潜力分析的基础。

(2)室内与野外相结合,多学科交叉的研究方法,是实现成矿地质条件研究与潜力评价的基础。

(3)必要的测试分析,如同位素定年、流体包裹体测温、岩矿石常量、微量、稀土、地球化学特征,是解决矿床成因,建立成矿模式及找矿模型的必要手段。

1.4 完成工作量及取得主要成果

1.4.1 完成工作量

在论文研究工作中,作者跟随导师对宝兴沟金矿区进行了深入细致的调研工作。围绕“金矿床地质特征、矿床物理化学特征与找矿潜力评价”这一主题,对宝兴沟金矿区矿床产出的地质背景等进行了大量详实的研究工作,获得了丰富的第一手资料,并结合项目研究需要进行了典型现象的素描、照相,采集了大量样品与标本(见表1.1)。

表 1.1 项目研究主要工作量一览表

工作项目	工作内容	工作量
野外地质调查	各矿点系统调查研究	宝兴沟金矿床、旁开门金矿床
	岩、矿石样品、标本采集	46 余件
	地质素描与照相	20 张
岩矿鉴定	岩矿石薄片鉴定	18 片
	岩矿石光片鉴定	18 片
	薄片照片	54 张
样品测试	硅酸盐全分析	6 件
	稀土元素	6 件
	微量元素(原岩光谱)	47 件
	U—Pb 同位素定年	2 件

在室内研究中,鉴定分析了岩(矿)石薄片、光片,选送了岩矿石硅酸岩全分析、稀土元素分析、微量元素分析、成矿岩体锆石 U—Pb 离子探针年龄测定和包裹体岩相学研究、测温等,并对有关测试结果进行了系统、综合的分析整理。

1.4.2 取得主要成果

本文在区域地质背景和综合研究分析的基础上,对宝兴沟矿区的成矿条件、矿床成因、找矿潜力进行了分析评价,取得的主要成果和认识如下:

1、宝兴沟金矿床位于上黑龙江拗陷腰站断陷南缘与十八站隆起北缘交接部位。矿体呈脉状产出闪长玢岩、辉绿玢岩与二十二站组砂岩接触带中,赋矿岩石为蚀变砂岩和蚀变闪长玢岩。目前共发现 4 个矿化蚀变带,13 条破碎蚀变岩型金矿体。矿石中金属矿物主要为黄铁矿,其次是黄铜矿、斑铜矿、闪锌矿和方铅矿。成矿有关的围岩蚀变以中-低温蚀变为特征,主要有硅化、碳酸盐化、绢

云母化、绿泥石化等。

2、金矿体受北东向线性构造及侵入接触带控制，成矿与闪长玢岩、辉绿玢岩等浅成侵入体关系密切。区内北西部发现多个环状构造，多数可能与成矿有关浅成—超浅成侵入体有关，除少数岩体已出露外，其可能存在隐伏玢岩岩体。

3、区内存在较强的后期叠加富集特征，是找寻 Au、Ag、Pb、Sb 矿化或矿床希望较大。区内存在较强的后期叠加富集特征，Au 等元素异常受 NE 向构造控制，呈 NE 向分布；Ag、Pb、Sb 等异常可作为找寻 Au 矿化或矿床的找矿标志。

4、矿区岩、矿石的稀土元素配分模型为轻稀土富集的右倾配分模型，Eu 异常呈负异常到微弱正异常的特征；与成矿有关的闪长玢岩、辉绿玢岩具有高钾钙碱性玄武岩特征。

5、对成矿岩体进行锆石 U-Pb 年龄测定结果显示，侵位年龄为 $124.92 \pm 1.3\text{Ma}$ 。认为成矿时代略晚于 $124.92 \pm 1.3\text{Ma}$ ，金矿成矿发生于早白垩世。

6、矿床成矿物质主要来源于侏罗系二十二站组砂岩和早白垩世闪长玢岩、辉绿玢岩，成矿热源来自岩浆活动，成矿流体均一温度 $266.9\text{--}319.6^{\circ}\text{C}$ ，峰值 $280\text{--}290^{\circ}\text{C}$ ，成矿深度小于 1.5 千米，由此确定该矿床为浅成低温热液型矿床。

7、综合研究确定主要成矿地质条件及综合找矿标志，并根据已有地质、地球物理、地球化学成果资料，筛选找矿靶区 2 处，预测潜在资源量为 4000 千克左右，为后续勘查工作奠定基础。

第2章 成矿地质背景

2.1 大地构造背景

工作区地处天山-兴蒙造山带、大兴安岭火山岩带东北部上黑龙江拗陷腰站断陷南缘与十八站隆起北缘交接部位，上黑龙江前陆盆地南缘（见图 2.1）。矿床产于上黑龙江金铜钼Ⅲ级成矿带内。区内断裂、褶皱构造发育，侏罗系、白垩系地层广泛出露，岩浆活动频繁，成矿地质条件有利。

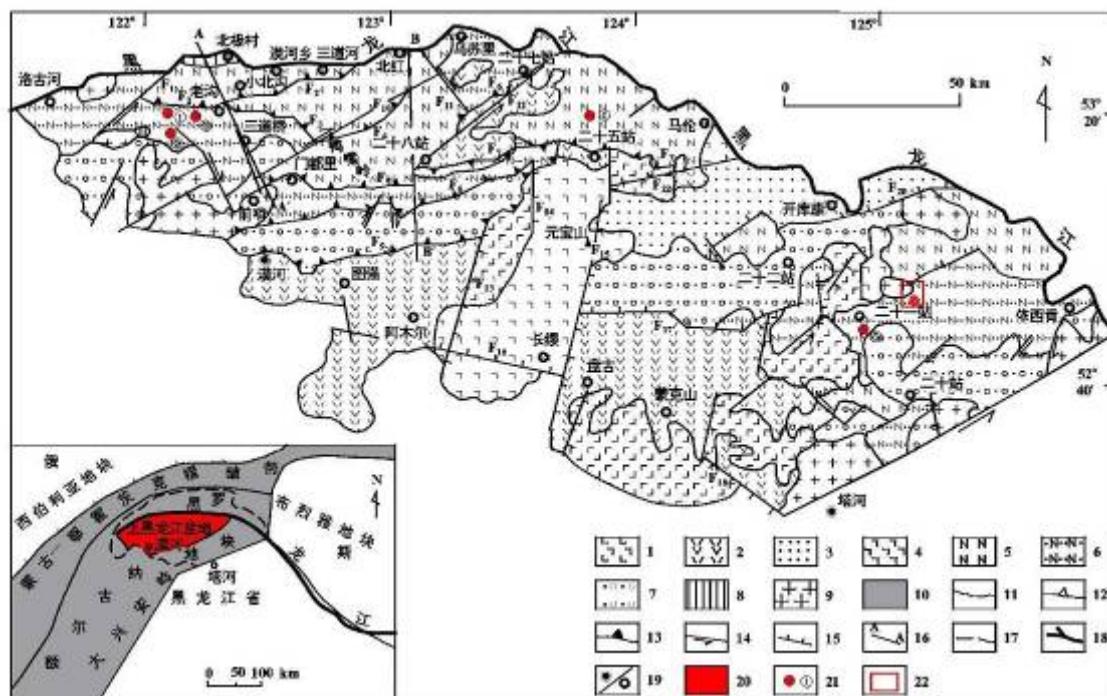


图 2.1 宝兴沟金矿床区域地质构造简图

（据赵炳新,2010）

- 1.白垩系甘河组 (K1g); 2.白垩系光华组 (K1gn); 3.侏罗系开库康组 (J3k); 4.侏罗系塔木兰沟组 (J2-3tm); 5.侏罗系额尔木河组 (J2em); 6.侏罗系二十二站组 (J2er); 7.侏罗系绣峰组 (J1-2x); 8.泥盆系(D); 9.元古界花岗岩; 10.褶皱带; 11.构造边界; 12.缝合带; 13.逆冲断层; 14.走滑断层; 15.正断层; 16.剖面线; 17.盆地边界; 18.河流; 19.城镇; 20.上黑龙江盆地范围; 21.金矿床及编号; 22 研究区位置; ①—砂宝斯林场; ②—砂宝斯; ③—老沟; ④—二根河; ⑤—二十一站

2.2 区域地质特征

2.2.1 地层

区域出露地层有侏罗系、白垩系、第四系。现将地层由老至新分述如下：

2.2.1.1 侏罗系

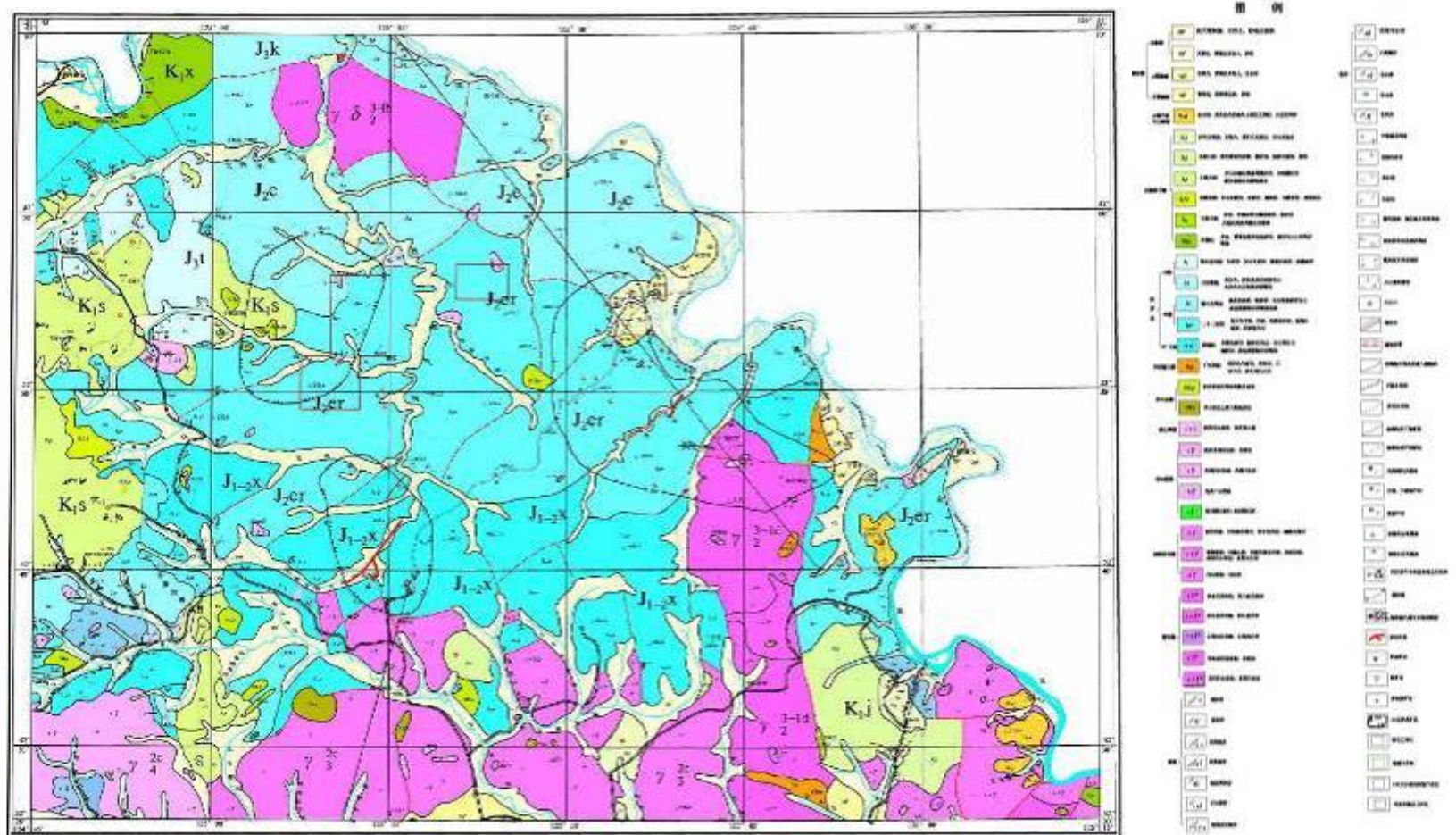
侏罗系地层主要分布于中北部，呈东西展布（图 2.2）。其总厚度大于 8835 米。由早-中-晚侏罗世陆相沉积岩和晚侏罗世基性火山岩组成。

侏罗系下中统绣峰组(J_{1-2x})：主要分布在中部，呈东西布。由一套陆相杂色中、粗砾岩、含砾粗砂岩、砂岩、薄层状细砂粉砂岩组成。产状较紊乱，地层走向多以南北向和北东向为主，岩层倾角多中等角度（20-35°）。该组上界与中侏罗统二十二站组为连续沉积，无确切分界。

侏罗系中统二十二站组(J_{2er})：主要分布在二十二站、马林和瓦拉干林场三连附近，于二十一站南八公里湾一带也零星出露。该组底界与下-中侏罗统额木尔河组呈整合沉积接触。顶部与中侏罗统额木尔河组为连续沉积。二十二站组由灰色，灰绿色细-中-粗粒长石岩屑砂岩、岩屑长石砂岩的中-厚层，与泥质粉砂岩，变细砂粉砂岩组成数多个频繁的全-半韵律式混合序列沉积。岩层中各种水成层理发育。层面构造发育，分别有流水作用形成的冲痕、流痕、拖痕等。

侏罗系中统额木尔河组 (J_{2e})：主要分布在二十二站西，开库康乡上地营子西—二十四站以北一线及兴安乡一带。与上覆地层上侏罗统开库组 (J_{3k})，呈微角度不整合接触在二十二站后山与下伏侏罗统二十二站组(J_{2er})，呈连续沉积接触。黑龙江右岸盘古河口至上地营子江岸，地层出露较好，厚度较大。岩层产状呈 SWW-W 倾向单斜，走向以 NNW-NW 为主，倾角一般在 20-45 左右。局部岩层褶曲，褶皱轴向南西。岩岩石不同程度轻微变质。大量浅色脉岩穿切地层，并与地层一同褶曲。自兴安乡向黑龙江下游至上地营子江堑，该组下部为浅紫灰色岩屑长石砂岩、粉砂岩、泥质粉砂岩夹泥岩及煤线；上部以黑色粗中粒长石岩屑砂岩为主，伴生细砂岩变粉砂岩，夹砾岩及多层煤线；上部以黑色粗中粒长石岩屑砂岩为主，伴生细尖岩变粉砂岩，夹砾岩及多层煤线。产丰富的植物化石。二十二站组西，主要四浅灰、黄灰色岩屑长石砂岩、长石岩屑砂岩，粉砂夹泥质砂岩、泥岩组成。产少量动物及植物化石。

侏罗系上统开库康组 (J_{3k})：该组在二十三站，二十二站以北，开库康乡黑龙江右岸出露。近东西向展布，厚度约 741 米。该组上部砾岩与上覆下鱼亮子组呈整合接触。主要有黑灰色、褐色复成分砾岩为主夹窝状或透镜状粗砂岩、含砾粗砂岩，底部夹粉砂岩、中粗粒岩屑砂岩薄层。



侏罗系上统塔木兰沟组 (J_{3t}): 该组主要分布于二十三站北部、瓦露丽和二十一站北部。主要为喷出相的玄武岩、安山玄武岩、橄榄玄武岩、底部砾岩。该组顶界为上库力组 (K_{1s}) 凝灰岩类不整合覆盖, 底界不整合于额木尔河组 (J_{2e}) 砾岩、含砾砂岩之上。

2.2.1.2 白垩系

白垩系下统木端组 (K_{1m}): 该组出露于怀柔站一带的黑龙江南岸和三合站至白银纳公路 11Km 附近。由粗碎屑岩夹细碎屑岩及凝灰质砂岩, 黄褐色紫灰色粗砂岩, 砾岩夹火山碎屑岩薄层等组成。

白垩系下统上库力组 (K_{1s}): 分布在平顶岭-十七站北东向火山岩带上, 另外在十五里桥北东、十九站一带依西肯南、二十站南等。主要岩性有: 灰白色流纹质晶屑凝灰岩, 角砾凝灰岩, 凝灰角砾岩及酸性溶岩。整合覆盖于木端组 (K_{1m}) 之上。

白垩系下统下亮子九峰山组 (K_{1j}): 分布于三合站西南、乌苏门一带, 太平沟顶、张家店沟和查拉班河上源等地。该组主要由粗碎屑岩夹细碎屑岩、凝灰质砂岩、煤层及煤线组成。该组岩石组合、层间构造等特征, 均属于该区的构造控制的山间盆地、河流、沼泽相和浅湖相沉积。

白垩系下统下亮子组 (K_{1x}): 分布于开库康乡附近, 与下伏上侏罗统开库康组呈现整合关系。由砂岩、含砾砂岩夹薄层砾岩、粉砂岩及流纹质晶屑凝灰岩薄层。

白垩系下统伊列得克组 (K_{1y}): 主要分布在二十三站以北, 三连山-马伦, 布鲁克里河-三连一带, 其它地区也有零星出露。其底界与上库力组呈不整合接触, 顶界不清。是一套以喷溢相为主, 脉相为次的中基性火山熔岩, 分别由灰绿色橄榄玄武岩、伊丁石化橄榄玄武岩、玄武岩岩, 安山玄武岩组成。

2.2.1.3 第四系

全新统 (Qh): 砂砾、亚粘土、粘土、泥砾等。

2.2.2 构造

区内褶皱构造较为发育, 总体为形态宽缓的复褶皱, 总体走向东西。根据地层分布及相互关系, 划分出两个复式向斜和一个复式背斜, 自北向南褶皱包括三连山-开库康复式向斜、樟桦顶-二十一站复式背斜和布鲁克里河-瓦拉干三连复式向斜。每一个复式褶皱内侧均由构造盆地和穹窿组成, 且其长宽之比小于或等于二比一, 显示出上黑龙江盆地内的凹中凹特征。以大西尔根气河断裂为界, 形成两侧盆地东西深的局面。另外, 本区的褶皱多被中生代晚期为火山活动及断裂活

动破坏,致使区内地层产状紊乱。

区内**断裂构造**发育,主要以北东向、北西向断裂为特征,见有东西向构造。北东向断裂包括依西肯-二十站断裂、绥安站-十五里桥断裂、龙站河断裂等。北西向断裂以秀水山-依西肯断裂为代表,该断裂北起秀水山附近,中被南北向断裂错断,向东南至依西肯附近,延长约 30 公里。地貌上因受断裂影响使附近水系方向与其一致。断裂两侧地层各异,北侧为额木尔河组,南侧为二十二站组。沉断裂发育有构造角砾岩和实测断层,后期沿断裂有伊列克得火山喷发和花岗斑岩脉的侵入。

2.2.3 岩浆岩

区内岩浆岩广泛出露,主要为晋宁期花岗岩、斜长花岗岩、花岗闪长岩,加里东期中粗粒花岗岩和华里西期中粗粒花岗岩。其次是燕山期花岗闪长岩、花岗岩。区域内脉岩较为发育,主要有花岗斑岩脉、闪长玢岩脉、辉绿玢岩脉、闪长岩脉、伟晶岩脉、细晶岩脉、石英脉等。

晋宁期花岗岩岩组 (γ_2^{3-1d}): 分布广泛,主要分布在呼玛河以南,倭勒根河北地区。总体大致呈现东西向展布,表明其分布受东西向构造控制。岩组内分布有大量大小不等的兴华渡口群变质岩捕虏体或残留体,与兴华渡口群密切伴生。岩石矿物特征:岩石呈现灰白、白、灰黄、黄褐色,中—中细粒结构,建筑材料状结构,致密块状构造。矿物成分主要为钾长石,斜长石、石英。暗色矿物很少,含量一般不大于 5%,一般为黑云母,有时可见白云母。

晋宁期斜长花岗岩组 (γ_2^{3-2c}): 主要在查拉班河中下游、新村及哈拉巴奇。岩石类型单一,为斜长花岗岩。岩石矿物特征:岩石呈灰-灰白色,粒状结构。矿物成分为斜长石、石英、黑云母及少量钾长石,其中钾长石、斜长石宏观为白色。

晋宁期花岗闪长岩组 ($\gamma\delta_2^{3-1b}$): 主要分布在北部秀水山。岩体四周与围岩均呈断层接触。围岩见有片理化,并未见烘烤变质现象,表明受过后期构造作用而出露地表。岩体大致呈东西向展布,岩石普遍碎裂并发育有片麻理,走向近东西。岩石矿物特征:岩石青灰色、灰白色,不等粒斑状结构,斑杂状构造明显。具钾长石交代斑晶,含量最高达 20%左右。矿物成分主要为斜长石、角闪石、黑云母、石英及钾长石。

加里东期中粗粒花岗岩 (γ_3^{2c}): 主要本区南部。岩石矿物特征:岩石为肉红-灰红色,粗粒、中粒、不等粒、细粒及似斑状花岗结构。岩石主要由石英、钾长石、斜长石及少量黑云母组成。

燕山期花岗闪长岩 ($\gamma\delta_5^2$): 出露于鸥浦西黑龙江右岸江铍。侵入中侏罗统二十二组砂岩中,并见有黄铁矿化。岩体中心颗粒较粗,成分为花岗闪长岩;从中

心向边部粒度由粗逐渐变细，成为也趋于中性、岩性为石英闪长岩。岩石矿物特征：岩石浅灰-灰褐色，不等粒、中粗-中细粒结构，块状构造。矿物成分主要为斜长石、黑云母、角闪石、石英等。

燕山期花岗岩 (γ_5^2): 主要分布于西南部外倭勒根河左岸及查拉班河右岸，呈零星的小岩株分布。岩石类型较为单一，主要为石英二长岩及细粒花岗岩。岩石矿物特征：石英二长岩及石，英二长（闪长）斑岩，均为青灰色，灰红允，中粒、细粒，不等粒及似斑状、班状结构，块状构造。

脉岩: 区内脉岩较为发育，从中基性-中酸性-酸性皆有出露，岩石类型也较多。主要产于各类断裂、裂隙中，其规模、产状明显受构造的控制。

晋宁期伟晶岩脉: 为晋宁期岩浆期后产物，顺层或切层侵入兴华渡口群变质岩及晚元古代晋宁期侵入岩中。岩石呈灰白、白色，长石皆为白色。

加里东中期伟晶岩脉: 为加里东中期岩浆期后产物，常与加里东中期细粒花岗岩伴生。岩石呈肉红色。岩石只见加里东中期侵入岩（花岗岩）中。

闪长玢岩脉: 常见于兴华渡口群、倭勒根群变质岩及晋宁期侵入岩中。岩脉走向近东西向。岩石灰绿色，斑状结构，斑晶多为斜长石，有时可见少量暗色矿物。基质矿物成分为斜长石、角闪石、黑云母等。岩石见有碳酸盐化、绿泥石化等，并常见黄铁矿化。

细晶-微晶闪长岩脉: 岩石见于元古代-中生代各地质单元中，岩脉走向主要为北东、北西向。岩石为灰黑-灰绿色，细晶-微晶结构，有时可见斑晶，致密块状构造。主要矿物成分为斜长石、角闪石，有时可见少量黑云母及石英。其推测为燕山期岩浆活动的产物。

辉绿玢岩脉: 侵入兴华渡口群以后至中生代各地质单元相当燕山晚期产物。岩石新鲜，灰至灰红色，斑状结构，基质致密块状。斑晶为长石及暗色矿物角闪石、黑云母，长石斑晶常呈板状、板柱状，较粗大。

花岗斑岩脉: 侵入元古代-中生代各地质单元，相当燕山晚期产物，岩脉一般规模较小。岩石为浇肉红色，斑状结构。斑晶由长石、石英及黑云母组成，基质为微晶质花岗结构。

2.2.4 区域矿产

区域矿产主要以砂金为主，在查拉班河、龙站河、小布鲁嘎里河、富拉罕河、小西尔根气河都有砂金分布。

区内岩金矿较多，在韩家园子、兴隆沟一带，成型的矿床有硅化角砾岩型的旁开门金银矿、石英脉型的黑龙沟金矿床、二十四号桥金矿床、宽河金矿床、塔源金银矿点以及蚀变岩型的三分处和腰卡岩金矿化点。

在宝兴沟金矿床附近有宝兴沟金矿点、富拉罕金矿点、二十一站多金属矿点等。

2.3 区域地球物理、化学特征

2.3.1 区域地球物理特征

2.3.1.1 布格重力异常特征

区内重力场形态较复杂，由北向南重力异常数值逐渐升高，总体来看，重力场数值及变化基本上与地形成镜像关系，与褶皱隆起和坳陷相对应。

大兴安岭梯级带位大兴安岭山脉东坡，北起北纬 51°，呈北北东向分布，梯级带连续性好，梯度大，平均 0.4mgI/km 以上，51°以北等值线明显受东西向及北西向构造影响，等值线方向变化频繁，基本走向为北西向，反映了伊勒呼里构造带南北两侧构造运动的差异，漠河—欧浦重力异常带位置与上黑龙江中生代裂谷对应。

2.3.1.2 区域磁场特征

本区磁场零星，无一定走向，场值-200—500 γ ，局部可达 1000 γ ，异常较多。本区西界未封闭。

2.3.2 区域地球化学特征

本区地处天山—兴安构造域和滨太平洋构造域的交接复合部位，构造发展多阶段、多旋回、不平衡性明显。地壳活动性较强，地质构造错综复杂，自晚元古代以来，地层发育齐全，岩浆活动频繁，成矿条件良好。反映在元素含量的分布上，表现为时间上和空间上强烈的不均一性。不同的大地构造单元，不同的区域地质条件，元素的分布和分配形式各不相同。

大兴安岭早古生代陆缘增生构造带 Au、Cu、Mo、W 四种元素的平均值高于全省平均值，Ag、Pb、Zn 三种元素的平均值略低于全省平均值（表 2.1）。这一构造单元内，Au、Cu 二种元素表现出了明显的区域地球化学高背景场（表 2.2）。但在不同的IV级构造单元内，Au、Cu 的表现形式却完全不同。

表 2.1 大兴安岭陆缘增生构造带主要成矿元素含量表

参 数	元 素	Au	Ag	Cu	Pb	Zn	Mo	W
	全国平均值	1.4	106.38	19.15	23.6	75.8	1.44	1.78
	大兴安岭陆缘 增生构造带	1.6	96.42	22.03	21.9	65.9	1.48	1.87
	K ₁	1.14	0.91	1.15	0.93	0.87	1.03	1.05

北部塔源—兴隆早加里东（冒地槽）陆缘活动带表现出 Au 的强烈富集，主要与早元古代和早古生代地层有关，尤其是早元古代兴华渡口群变质岩，表现出了 Au 的矿源场特点。南部的多宝山奥陶纪（优地槽）岛弧型活动带内，Cu 强烈富集，Au 表现为正常偏高的地球化学背景场。Cu 的富集主要与中奥陶统的多宝山组和铜山组地层有关，表现为明显的矿源场特点。这一构造单元内的矿产分布也表明了这一点，北部塔源—兴隆早加里东陆缘活动带上大量分布着砂金矿床和众多的岩金矿点。南部多宝山奥陶纪岛弧型活动带则以多宝山铜矿为代表，为铜的矿集区。Cu 的高背景分布受 NE、NW 二组构造作用控制明显。

表 2.2 大兴安岭陆缘增生构造带不同构造单元主要成矿元素地球化学参数

构造单元	参数	Au	Ag	Cu	Pb	Zn	Mo	W
大兴安岭陆缘 增生构造带	χ	1.6	96.42	22.03	21.9	65.9	1.48	1.87
	S	4.94	327.04	11.18	11.67	22.41	0.98	1.44
	Cv	3.09	3.39	0.51	0.53	0.34	0.66	0.77
	K ₁	1.14	0.91	1.15	0.93	0.87	1.03	1.05
塔源—兴隆陆 缘活动带 (Pt1x+ ϵ_1 +O)	χ	3.8	100.88	18.34	21.5	49.3	1.75	1.94
	S	12.80	88.97	16.57	5.37	24.69	0.49	0.52
	Cv	3.37	0.88	0.90	0.25	0.50	0.28	0.27
	K ₂	2.38	1.05	0.83	0.98	0.75	1.18	1.04
多宝山岛弧型 活动带 (O ₂ d +O ₂ t)	χ	1.4	92.63	28.77	21.5	72.9	1.56	1.98
	S	1.39	40.16	15.58	4.20	31.09	1.82	2.00
	Cv	0.99	0.43	0.54	0.20	0.43	1.17	1.01
	K ₂	0.88	0.96	1.31	0.98	1.11	1.05	1.06

金的区域分布特征显示其具有找寻大型、超大型金矿床潜力。金的分布极不均匀，最低值 0.4×10^{-9} ，最高值 580.3×10^{-9} ，相差 1450 倍。全省背景值为 1×10^{-9} 。金元素在大兴安岭褶皱带，佳木斯隆起含量较高，在元古界变质岩和混合花岗岩

及超基性岩分布区含量较高。

区内金的分布受南北向、北西向断裂构造控制。大约 70%砂金矿床上有金异常显示，在团结沟、塔源、平顶山、22 号桥、24 号桥、多宝山等原生金矿有微弱金异常显示，金的地球化学图基本上能够反映已知金矿的分布范围，并圈定一批新的金异常。

第3章 矿床地质特征

3.1 矿区地质特征

3.1.1 地层

研究区地层只出露侏罗系中统二十二站组、额木尔河组及第四系(图 3.1)。

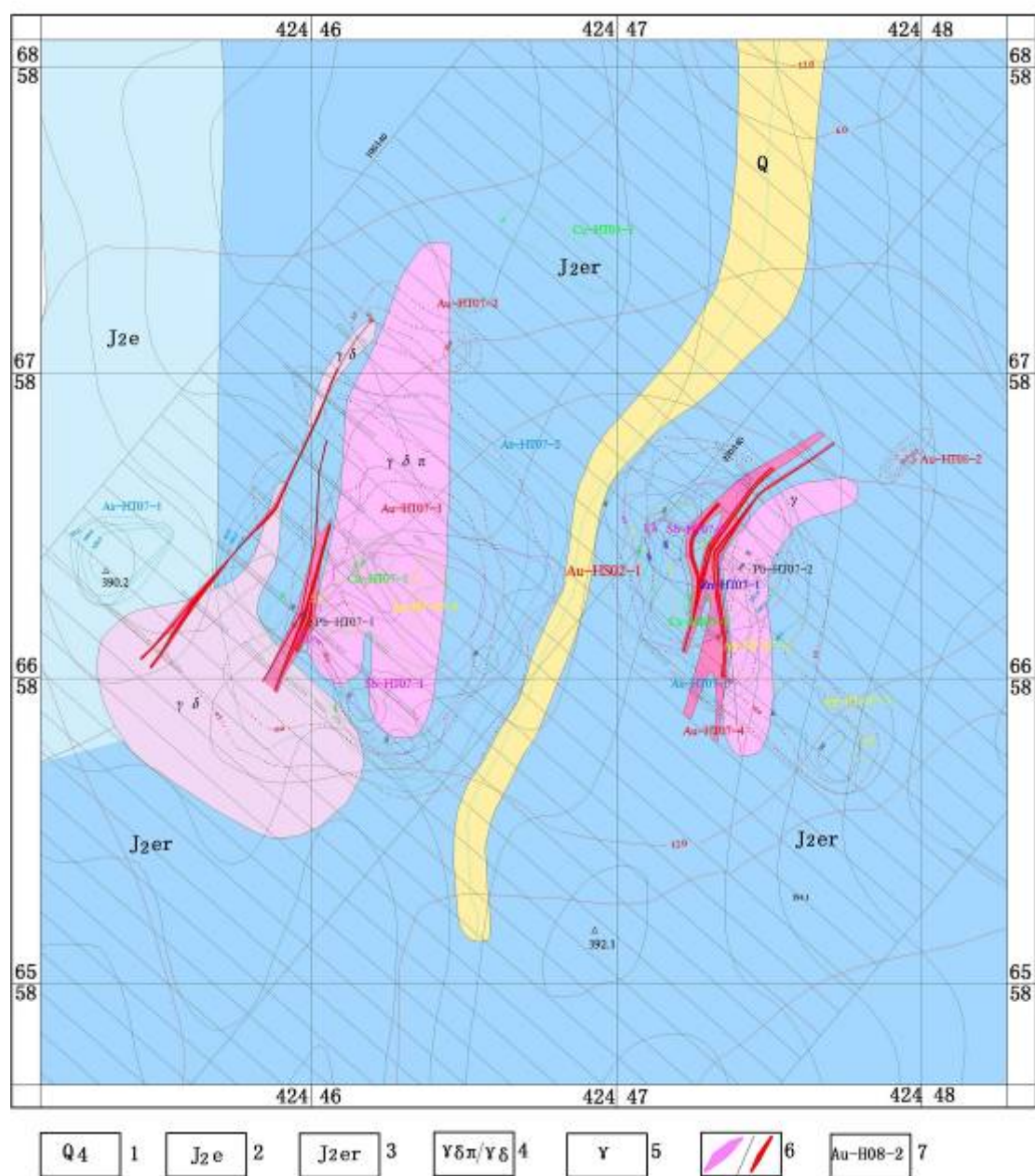
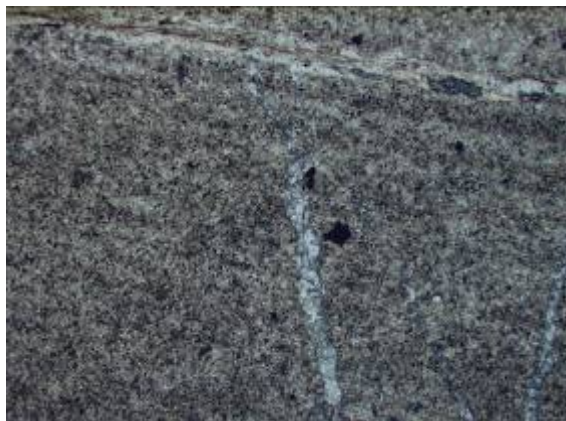


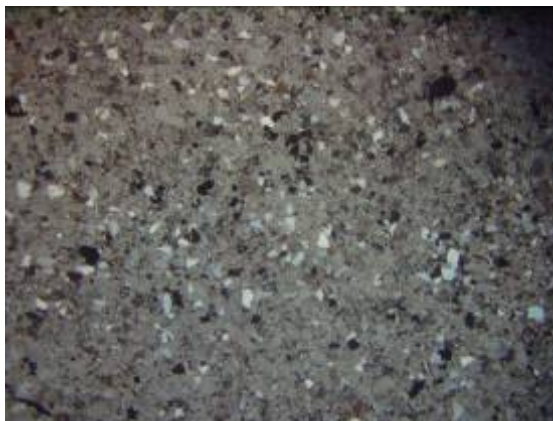
图 3.1 宝兴沟矿区综合地质图

1. 第四系现代堆积物；2. 侏罗系额木尔河组 (J2e)；3. 侏罗系二十二站组 (J2er)；
4. 闪长玢岩/辉绿玢岩；5. 花岗细晶岩 6. 矿化蚀变带/金矿体；7. 土壤金元素异常

侏罗系中统二十二站组(J_{2er}): 在区内大面积出露, 与额木尔河组整合接触, 岩性为黑灰色中粒砂岩、泥质粉砂岩, 钙质泥岩, 长石杂砂岩等; 底部以砾岩、粗砂岩为主 (照片 3-1~4)。



照 3.1 中粒岩屑长石砂岩 (2×+)



照 3.2 变质粉砂质泥岩 (2×+)



照 3.3 强绢云母化钙质泥岩 (4×+)

照 3.4 矿化-强碳酸盐绢云母化细粒杂砂岩
(1.25×+)

侏罗系中统额木尔河组(J_{2er}): 出露于工作区西北部, 岩性为黑灰色砾岩、粗砂岩、长石岩屑砂岩、泥质粉砂岩及煤层。

新生界第四系全新统 (Qh): 为砂砾、亚粘土、粘土、泥砾等。

3.1.2 构造

区内构造主要为断裂构造 (图 3.2), 主要有北东向的依西肯—二十站断裂、绥安站-十五里桥断裂, 及北东向、北西向次级断裂。次级构造主要有 EW 向的大乌苏桥断裂、前进林场断裂、西里西汗河断裂; NNE 向的塔河断裂; NE 向的 871 高地断裂、塔哈河断裂; NW 向的大乌苏河断裂。区内环状构造发育, 北西部多个环状构造呈北西线状定向分布, 反映受断裂构造带控制特征。

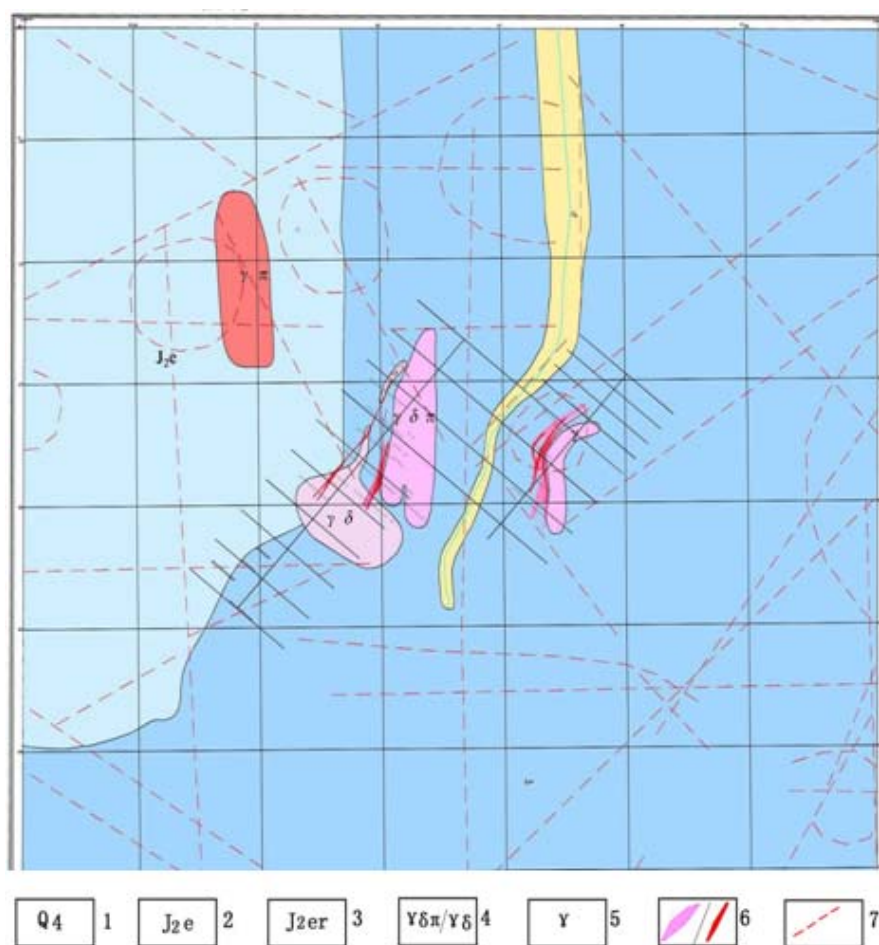


图 3.2 黑龙江省塔河县宝兴沟矿区构造解译图

1. 现代堆积物；2. 侏罗系额尔木河组 (J2e)；3. 侏罗系二十二站组 (J2er)；
4. 闪长玢岩/辉绿玢岩；5. 花岗细晶岩；6. 矿化蚀变带/金矿体；7. 遥感解译构造

3.1.3 岩浆岩

岩浆岩呈岩株状分布于区内的北部及西南部(图 3.1), 岩性为燕山期花岗斑岩、闪长玢岩、花岗细晶岩。脉岩主要有辉绿玢岩脉、闪长玢岩脉、花岗细晶岩脉(照 3-5~10)。

辉绿玢岩脉: 出露于 I 号矿体的西南侧, 浅灰-灰黑色, 半自形粒状结构, 块状构造, 主要由角闪石、长石、石英组成, 见有黄铁矿化, 绿泥-绿脱石化, 绢云母化, 局部有碳酸盐分布。

闪长玢岩脉: 出露于 I 号矿体的东侧, 浅灰-灰黑色, 斑状结构, 块状构造, 主要由角闪石、长石、石英组成, 见有黄铁矿化, 绿泥-绿脱石化、绢云母化等。与辉绿玢岩脉控制 I 号矿体的产出。

花岗细晶岩脉: 出露于 II 号矿体东侧, 脉体呈浅褐色, 花岗细晶结构, 块状构造, 主要由长英质矿物质组成, 未见黄铁矿化, 矿体沿其与地层接触部位分布。



照 3.5 碳酸盐绿泥绢云母化辉绿玢岩 (4×+) 照 3.6 黑云母辉石辉绿玢岩 (4×+)



照 3.7 绿泥石绢云母化石英闪长玢岩 (4×+) 照 3.8 绿泥绿帘石化闪长玢岩 (4×+)



照 3.9 绿泥-绢云母化黑云角闪石英闪长岩 照 3.10 花岗细晶岩 (中-轻度风化)
(4×-) (2×+)

3.2 矿体特征

截止 2009 年工作区内共发现金矿化蚀变带 4 条, 圈定金矿体 13 条, 累计估算推断的内蕴经济资源量 (333) 3051 千克, 累计估算预测资源量 (334) 4246 千克 (表 3.1), 具体如下:

表 3.1 宝兴沟金矿床矿体特征一览表

矿带号	矿体号	控制标高	控制长度	产状	平均厚度	平均品位	资源量	备注
I	I -1	80-375	1147	30°∠70°	3.34	1.73	(333) 1374	深部未圈闭
	I -2	93-368	830	100°∠70°	2.40	1.35	(334) 919	深部未圈闭
	I -3	100-367	575	105°∠70°	10.45	1.22	(333) 1677	深部未圈闭
	I -4	118-368	430	105°∠70°	1.10	1.83	(334) 344	深部未圈闭
	I -5	180-367	240	105°∠70°	1.06	1.63	(334) 113	深部未圈闭
	I -6	260-370	240	105°∠70°	2.25	2.29	(334) 259	深部未圈闭
II	II-1		690	205°∠70°	8.75	1.83	(334) 1925	两端未封闭
	II-2		750	195°∠70°	4.63	1.35	(334) 686	两端未封闭
III	III-1			110°∠65°	0.50	1.60		两端未封闭
	III-2			110°∠50°	0.80	1.94		两端未封闭
	III-3			110°∠50°	1.00	1.12		两端未封闭
IV	IV-1			150°∠70°	3.00	2.79		两端未封闭
	IV-2		270	150°∠70°	1.00—3.00	1.96		两端未封闭

3.2.1 I 号金矿化蚀变带

I 号金矿化蚀变带控制长度 1147 米，宽 1.7—61 米，由蚀变砂岩、蚀变闪长玢岩构成，蚀变类型为硅化、碳酸岩化、绢云母化，局部见石英细脉、方解石细脉，矿化为黄铁矿、黄铜矿化、方铅矿化。在其内部圈定 6 条矿体（图 3.3），其形态、规模、产状如下：

I -1 号金矿体控制标高 80-375 米，控制长度 1147 米，产状为 130°∠70°，平均厚度为 3.34 米，80 线最厚为 7.00 米，平均品位为 1.73×10^{-6} ，单样最高 5.98×10^{-6} ，估算推断的内蕴经济资源量（333）1374 千克。

I -2 号金矿体控制标高 93-368 米，控制长度 830 米，产状为 100°∠70°，平均厚度为 2.40 米，平均品位为 1.35×10^{-6} ，估算预测资源量（334）919 千克。

I -3 号矿体控制标高 100-367 米，控制长度 575 米，产状为 105°∠70°，平均厚度为 10.45 米，3 线最厚为 36.07 米，平均品位为 1.22×10^{-6} ，单样最高 3.08×10^{-6} ，估算推断的内蕴经济资源量（333）1677 千克。

I -4 号矿体控制标高 118-368 米，控制长度 430 米，产状为 105°∠70°，平均厚度为 1.10 米，平均品位为 1.83×10^{-6} ，估算预测资源量（334）344 千克。

I -5 号矿体控制标高 180-367 米，控制长度 240 米，产状为 105°∠70°，平均厚度为 1.06 米，平均品位为 1.63×10^{-6} ，估算预测资源量（334）113 千克。

I -6 号矿体控制标高 260-370 米，控制长度 240 米，产状为 105°∠70°，平均

厚度为 2.25 米，平均品位为 2.29×10^{-6} ，估算预测资源量（334）259 千克。

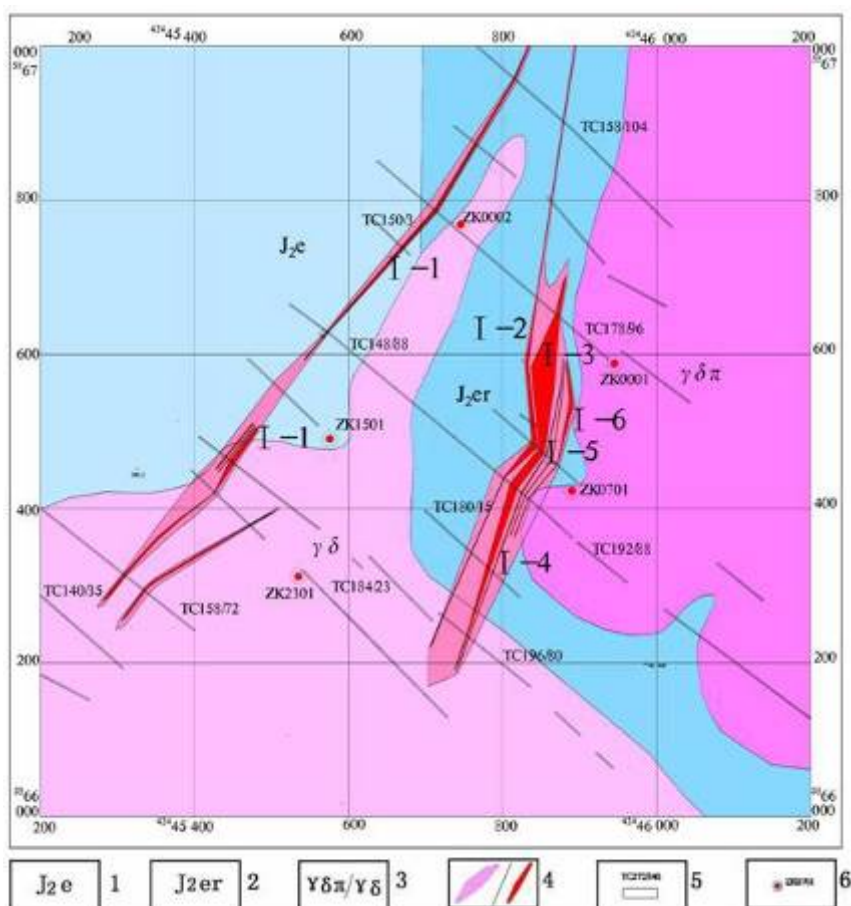


图 3.3 宝兴沟矿床 I 号矿化蚀变带矿体平面图

- 1.. 侏罗系额尔木河组 (J2e); 2. 侏罗系二十二站组 (J2er); 3. 闪长玢岩/辉绿玢岩;
4. 矿化蚀变带/金矿体; 5. 探槽及编号; 6. 见矿钻孔及编号

3.2.2 II 号金矿化蚀变带

II 号金矿化蚀变带控制长度 750 米，宽 40—120 米，为一条破碎蚀变带，岩性为蚀变砂岩，蚀变主要为硅化、碳酸岩化，局部见石英细脉，呈不规则网脉状，脉宽 0.5-5 毫米；局部可见方解石细脉；矿化为黄铁矿、黄铜矿化。其内圈定 2 条矿体（图 3.4）。

II-1 号金矿体控制长度 690 米，产状为 $205^\circ \angle 70^\circ$ ，平均厚度为 8.75 米，平均品位为 1.83×10^{-6} ，单样最高 6.43×10^{-6} ，两端未封闭，估算预测资源量（334）1925 千克。

II-2 号金矿体控制长度 750 米，产状为 $195^\circ \angle 70^\circ$ ，平均厚度为 4.63 米，平均品位为 1.35×10^{-6} ，单样最高 3.10×10^{-6} ，两端未封闭，估算预测资源量（334）686 千克。

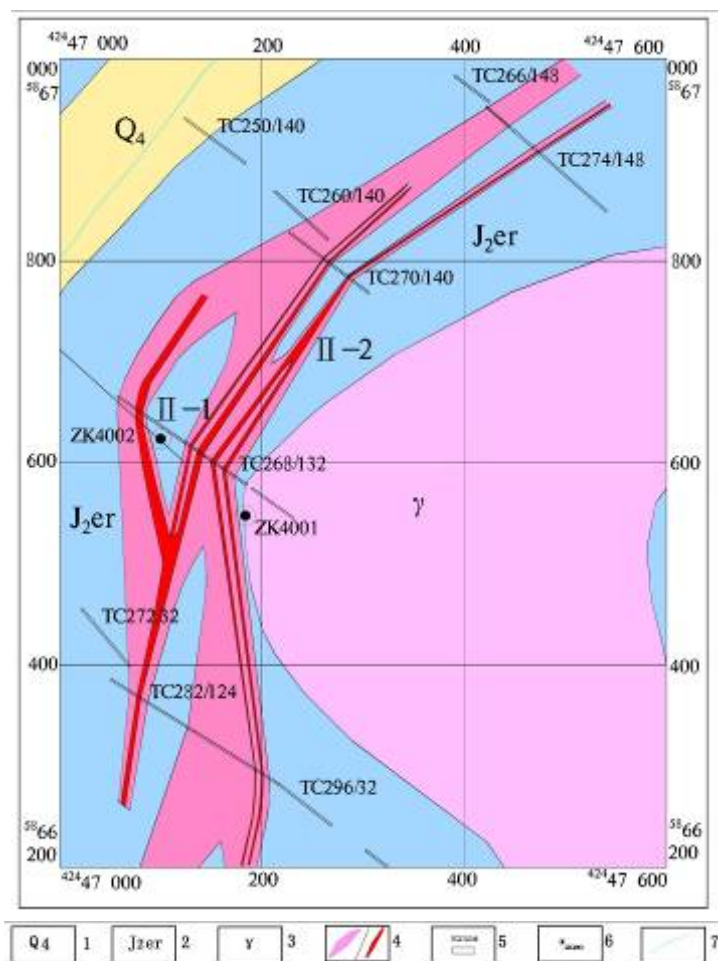


图 3.4 宝兴沟矿床 II 号矿化蚀变带矿体平面图

1. 第四系现代沉积物；2. 侏罗系二十二站组 (J₂er)；3. 花岗细晶岩；
4. 矿化蚀变带/金矿体；5. 探槽及编号；6. 未矿钻孔及编号；7. 溪流

3.2.3 III号金矿化蚀变带

III号金矿化蚀变带水系 Au-VI号异常外围发现，为一条破碎蚀变带，岩性为蚀变闪长玢岩，蚀变主要为硅化、碳酸岩化、绢云母化，局部见石英细脉，呈不规则网脉状，脉宽一般为 0.5—1.0 毫米，局部见方解石细脉，呈不规则网脉状，脉宽一般为 0.5—3.0 毫米，矿化为黄铁矿，黄铁矿化多呈星点状、团块状，局部为细脉状，为半自形-它形晶。其内圈定 3 条矿体，为破碎蚀变岩型，矿体均为单工程控制，两端未封闭。

III-1 号矿体宽 0.50 米，品位为 1.60×10^{-6} ，产状为 $110^\circ \angle 65^\circ$ ；

III-2 号矿体宽 0.80 米，品位为 1.94×10^{-6} ，产状为 $110^\circ \angle 50^\circ$ ；

III-3 号矿体宽 1.00 米，品位为 1.12×10^{-6} ，产状为 $110^\circ \angle 50^\circ$ 。

3.2.4 IV号金矿化蚀变带

IV号金矿化蚀变带为一条破碎蚀变带，岩性为蚀变砂岩，蚀变主要为硅化、碳

酸岩化、绢云母化，局部见石英细脉，呈不规则网脉状，脉宽一般为 0.5—2 毫米，局部见方解石细脉，呈不规则网脉状，脉宽一般为 0.5—5 毫米，矿化主要为黄铁矿，黄铁矿化多呈星点状、团块状，局部为细脉状，为半自形-它形晶。其内圈定 2 条矿体。

IV-1 号矿体宽 3.00 米，平均品位为 2.79×10^{-6} ，产状为 $150^\circ \angle 70^\circ$ ，两端未封闭。

IV-2 矿体控制长度 270 米，宽 1.00—3.00 米，平均品位为 1.96×10^{-6} ，产状为 $150^\circ \angle 70^\circ$ ，两端未封闭。

3.3 矿石特征

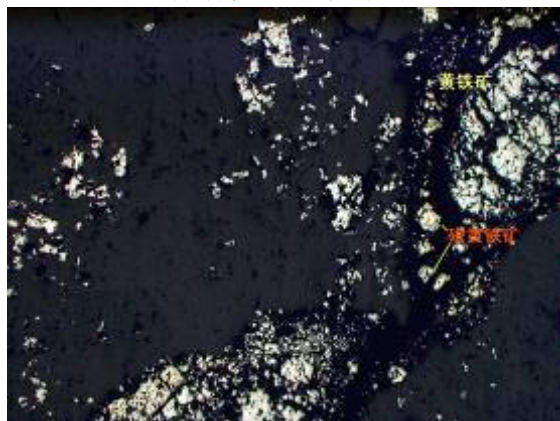
3.3.1 矿石的矿物成分及特征

矿石中金属矿物主要有黄铁矿（照 3-11、12、22）、方铅矿（照 3-11）、闪锌矿（照 3-14、16）、黄铜矿（照 3-16、22）、斑铜矿（照 3-16）等，见有褐铁矿。脉石矿物主要有石英、长石，次为绿泥石、绢云母等浅成低温热液蚀变矿物组合。主要金属矿物特征如下：

黄铁矿：为主要金属硫化物，占矿石矿物相对含量的 1—15%。多呈星点状、细粒浸染状、团块状，局部为细脉状；主要呈半自形—它形晶结构，有少量的呈立方体自形晶结构，黄铁矿晶体颗粒多呈分散状分布于岩石中，有的呈脉状充填于岩石的裂隙中。晶体颗粒大小为 0.01—2.7 毫米，较大晶体多有破碎现象，硬度大，正交偏光下显均质性。黄铁矿与金矿物关系密切。

毒砂：是矿石中金属硫化物，镜下常可见到主要呈菱面体状、楔形、柱状等自形晶体产出，主要分布在矿物粒间，少量的嵌布在石英颗粒中，较少与黄铁矿连晶。毒砂粒度细小，大多数呈细粒。

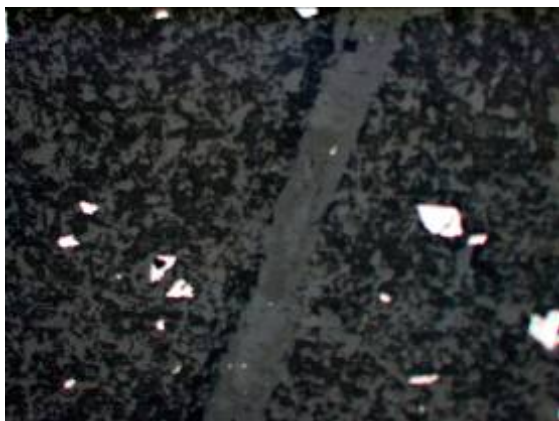
褐铁矿：为主要金属矿物氧化物，在矿石中分布不均匀，大部分是交代硫化物而成，有的保存完好的黄铁矿晶形，有的褐铁矿呈空洞状。



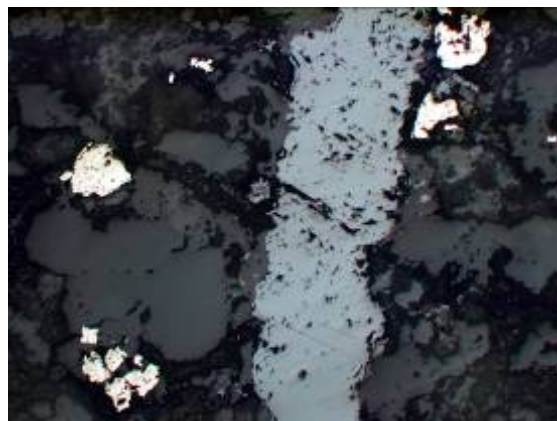
照 3.11 黄铁矿、磁黄铁矿（10×-）



照 3.12 两期黄铁矿（10×-）



照 3.13 方铅矿 (10×-)

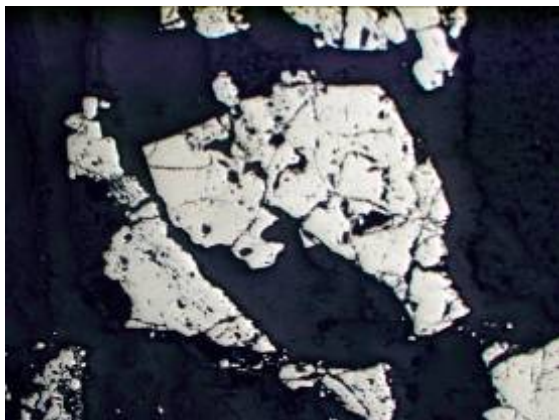


照 3.14 闪锌矿 (10×-)

3.3.2 矿石类型及组构

根据矿石构造及硫化物含量划分为星点浸染状矿石及细脉浸染状矿石。

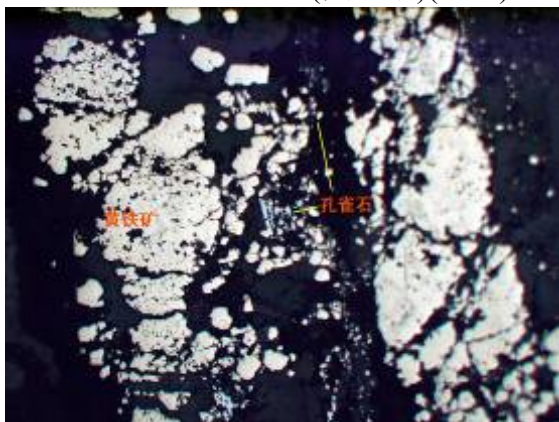
矿石的结构：结合光薄片观察，根据矿石中金属矿物的结晶程度、晶形、颗粒大小及它们之间的彼此关系，矿石的结构主要为半自形—它形晶结构、固溶体分体结构、碎裂结构、交代结构等（照 3-15~18）。黄铁矿呈半自形或它形的单体或集合体，呈浸染状或脉状分布于矿石中。



照 3.15 半自形结构(黄铁矿)(10×-)



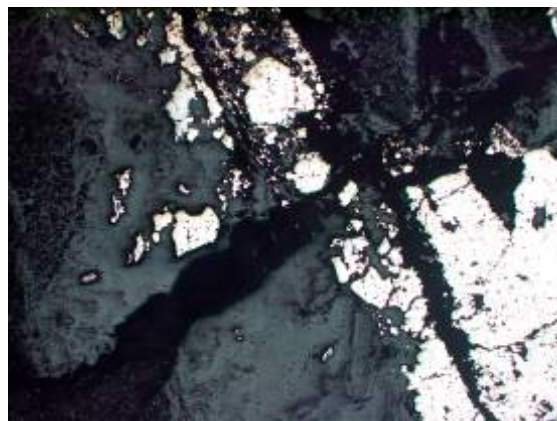
照 3.16 黄铜矿闪锌矿固溶体分体结构(20×-)

照 3.17 碎裂结构、块状构造、黄铁矿
(10×-)照 3.18 交代结构(斑铜矿、黄铜矿交代
黄铁矿)(10×-)

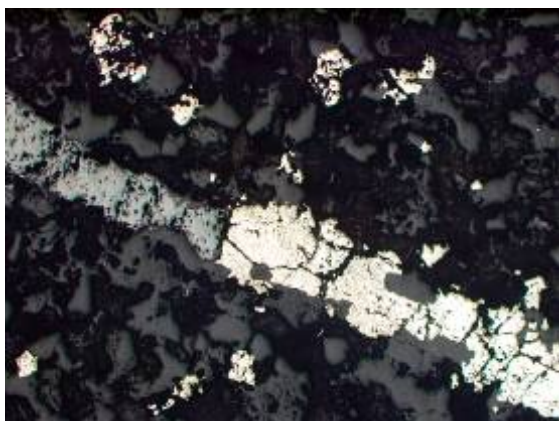
矿石的构造：浸染状构造为本区矿石的常见构造，主要表现为细—微粒的黄铁矿呈浸染状分布于砂岩碎屑矿物的晶隙或间隙中；充填脉状构造表现为黄铁矿呈脉状充填于岩石的裂隙中，黄铁矿晶体多呈它形且碎裂。另外还有块状构造等。



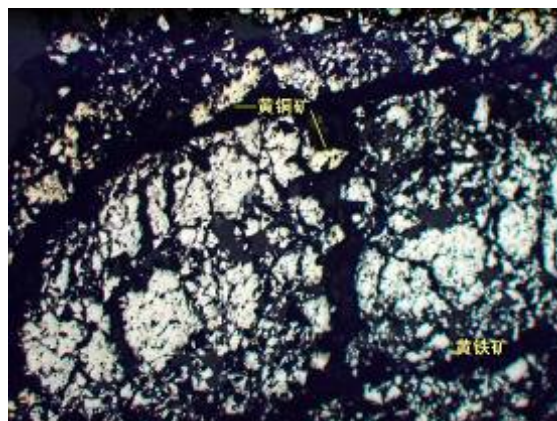
照 3.19 浸染状构造 (10×-)



照 3.20 脉状构造 (10×-)



照 3.21 脉状构造 (10×-)



照 3.22 块状构造 (10×-)

3.3.3 矿石化学成分及特征

本次研究对区内矿石进行了硅酸盐全分析及成矿元素分析。

从硅酸盐全分析（表 3.1）结果可知，BXG-2 为Ⅱ号矿体含矿岩石，其 SiO_2 含量为 61.41%、 Al_2O_3 12.03%、 Fe_2O_3 1.63%、 FeO 2.92%、 CaO 6.39%、 K_2O 2.45%，总体与二十二站组砂岩成分一致。

据成矿元素分析结果（表 3.2），可以看出矿石中主要成矿元素为 Au，含量 $0.22\sim 1.27\times 10^{-6}$ ，另据三支队分析结果，工业矿体中矿石 Au 平均品位变化于 $1.12\sim 5.98\times 10^{-6}$ 。同时矿石中伴生较高的 Ag、As、Pb 等元素，如 As 最高可达 1.12%、Ag 最高可达 12.81×10^{-6} ，Pb 最高 0.1%，显示出矿石的复杂成分特征，As 含量较高，与矿石普遍含有毒砂矿物有关。

表 3.1 宝兴沟金矿床主量元素分析结果表 (%)

监控样	BXG-2	BXG-4	BXG-17	BXG-20	BXG-24	BXG-29
	矿石	闪长玢岩	石英闪长岩	辉绿玢岩	辉绿玢岩	花岗细晶岩
SiO ₂	61.41	62.01	52.65	50.06	52.60	71.49
Al ₂ O ₃	12.03	14.59	14.88	15.76	14.43	13.94
Fe ₂ O ₃	1.63	1.49	2.42	3.14	1.86	0.20
FeO	2.92	2.60	4.16	4.12	4.80	0.20
MgO	2.69	2.05	5.95	5.51	4.74	0.50
CaO	6.39	3.32	5.09	5.37	6.47	0.14
Na ₂ O	1.81	4.62	3.58	4.49	3.67	7.10
K ₂ O	2.45	2.39	2.08	1.82	1.84	4.48
MnO	0.17	0.06	0.10	0.10	0.11	0.01
P ₂ O ₅	0.08	0.17	0.31	0.34	0.22	0.03
TiO ₂	0.40	0.55	0.85	0.96	0.79	0.06
LOI	9.10	3.44	1.78	4.83	6.14	0.33
Total	98.74	99.91	99.82	99.88	99.74	99.99

注：廊坊物化探研究所分析中心，2010

表 3.2 宝兴沟金矿床成矿元素含量分析结果表
(Au、Ag、Hg×10⁻⁹，其他×10⁻⁶)

监控样	Au	Ag	As	Co	Cu	Hg	Mo	Ni	Pb	Sb	W	Zn
BXG-2	918.00	190.00	5107	9.87	2.70	151.00	1.61	28.42	9.18	89	1.67	36
BXG-3	394.74	941.35	2976	9.60	13.30	98.95	2.44	27.10	10.20	65	3.11	37
BXG-19	1275.45	12868.60	10	1.20	124.90	37.45	0.89	4.30	1090.30	431	31.92	31
BXG-28	617.65	483.45	2217	6.90	24.50	106.45	2.18	16.90	27.20	59	6.84	46
BP1-7	112.90	76.85	918	7.60	16.90	7.45	0.94	7.90	10.10	13	41.96	36
BP1-9	754.00	877.70	4353	6.90	27.40	14.95	0.49	13.30	105.50	31	8.84	85
BP1-10	535.00	1024.95	6367	3.90	32.70	39.95	0.63	6.90	123.50	43	15.44	74
BP1-11	220.00	3102.60	11183	11.40	144.00	11.45	1.82	14.40	446.60	29	10.51	93

注：廊坊物化探研究所分析中心，2010

3.4 围岩蚀变

宝兴沟金矿近矿围岩蚀变发育，尤其是附近的闪长玢岩、辉绿玢岩等蚀变强烈。矿区内围岩蚀变以中-低温蚀变为主，主要有硅化、碳酸盐化、绢云母化、绿泥石化等。

硅化：主要为石英细脉状，脉宽一般为 0.5—2 毫米，长 2—5 厘米。局部石英细脉发育，呈网脉状。结合野外石英细脉可分为两期，早期石英脉充填于方解石脉

中；晚期石英细脉与黄铁矿形成石英-黄铁矿细脉。

碳酸盐化：主要形成方解石细脉，方解石沿岩石节理裂隙充填，碳酸盐的形成时间在石英细脉状硅化之后，宽一般为 0.5—5.0 毫米。

绢云母化：区内普通发育，主要由长石蚀变产生。

绿泥石化：由铁质矿物角闪石、黑云母等经中、低温热液蚀变产生。

第4章 矿床地球化学特征

宝兴沟金矿区主量元素、稀土元素和微量元素的分析测试在廊坊物化探研究所测试中心 X-荧光光谱(XRF)实验室和等离子体质谱(ICP-MS)实验室完成(主量元素、稀土元素、微量元素化学成分及相关参数。主量元素采用 X-射线荧光光谱(XRF)分析; 稀土元素采用等离子体质谱法(ICP-MS); 微量元素 Au、Ag 分别采用无火焰原子吸收光谱法(AAN)与等离子体质谱法(ICP-MS)等。本次研究在宝兴沟矿区共采集主量元素分析样品 6 件, 原岩光谱分析样品 41 件。

4.1 主量元素地球化学特征

研究区岩浆岩以中酸性为主, 主要岩性有辉绿玢岩、闪长玢岩、花岗细晶岩, 暗色矿物出现角闪石和黑云母, 副矿物出现磁铁矿等。宝兴沟金矿床主量元素(共 6 件)分析结果见表 3.1。

由表 3.1 可知, 研究区 SiO_2 含量变化为 50.06%~71.49%, 平均 58.37%); 富全碱 $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ (4.26%~11.58%, 平均 6.72%); Al_2O_3 较高 (12.03%~15.76%, 平均 14.27%), 说明长石的含量较高, 为 Al_2O_3 的过饱和矿物; 里特慢指数 $\delta=2.94 < 3.3$, 表明岩石均为钙碱性岩石。

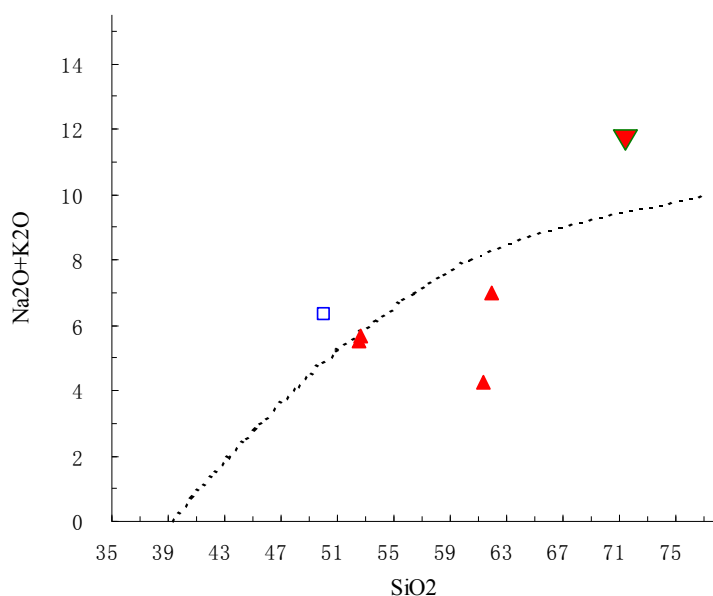


图 4.1 $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ — SiO_2 图解

在 $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ — SiO_2 图解(图 4.1)中,除矿石和花岗细晶岩外其它均投在亚碱性岩系列区。岩石富碱, 贫 Fe,Mg, 具有钙碱质岩浆演化的特点且显示出明显的由富 CaO 向贫 CaO, 富 $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ 的演化趋势, 反映出岩浆分异演化由早期到晚期,

逐渐由富钠向富钾演化的总趋势。

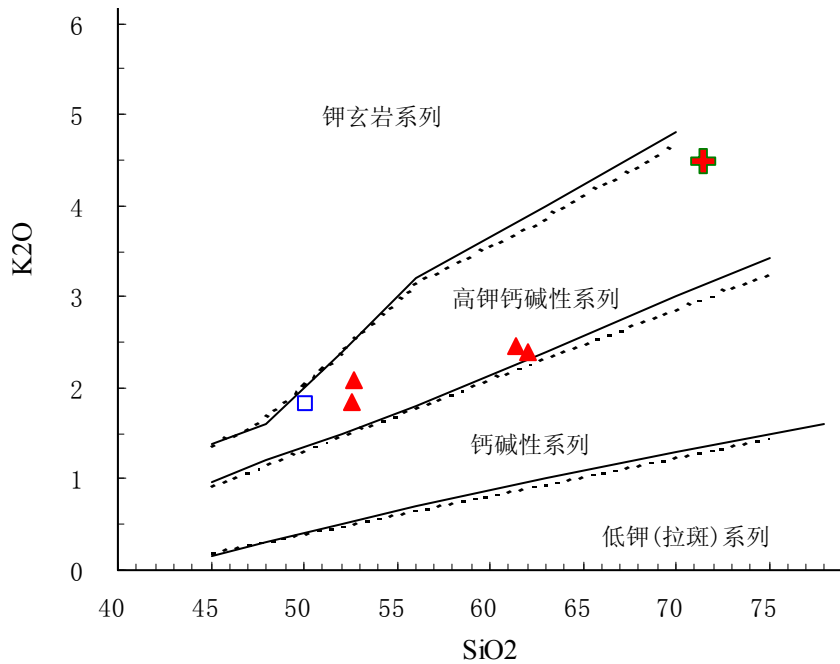


图 4.2 岩石系列 K_2O-SiO_2 图解

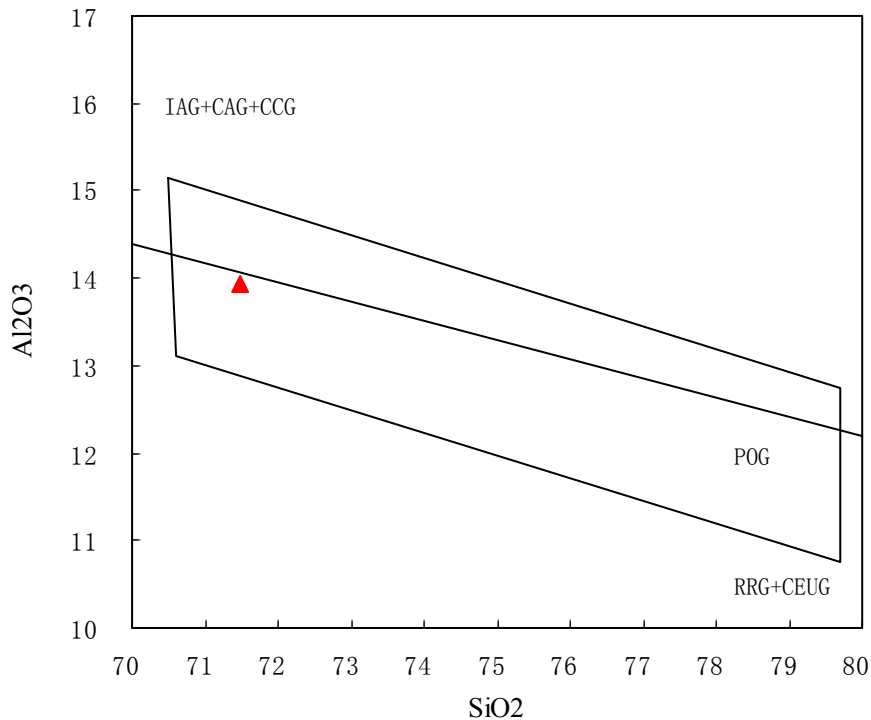


图 4.3 花岗细晶岩 $SiO_2-Al_2O_3$ 构造环境判别图解

在 K_2O-SiO_2 图解（图 4.2）中，岩石样品均落入高钾钙碱性系列区，显示出岩石富钾的特征。在 $SiO_2-Al_2O_3$ 构造环境判别图解（图 4.3）中，花岗细晶岩为造山后花岗岩类。

从研究区岩浆岩氧化物— SiO_2 Harker 图解（图 4.4）中，可以显示各岩石化学

成分变化特点和演化规律。从图中可以看出,随着 SiO_2 含量的逐渐增加, Na_2O 、 K_2O 呈明显上升的趋势; P_2O_5 、 MnO 、 CaO 、 FeO 、 MgO 、 TiO_2 呈明显下降的趋势, Al_2O_3 轻微下降, 可以确认在本区岩浆演化过程中存在强烈的分异特征和演化趋势。

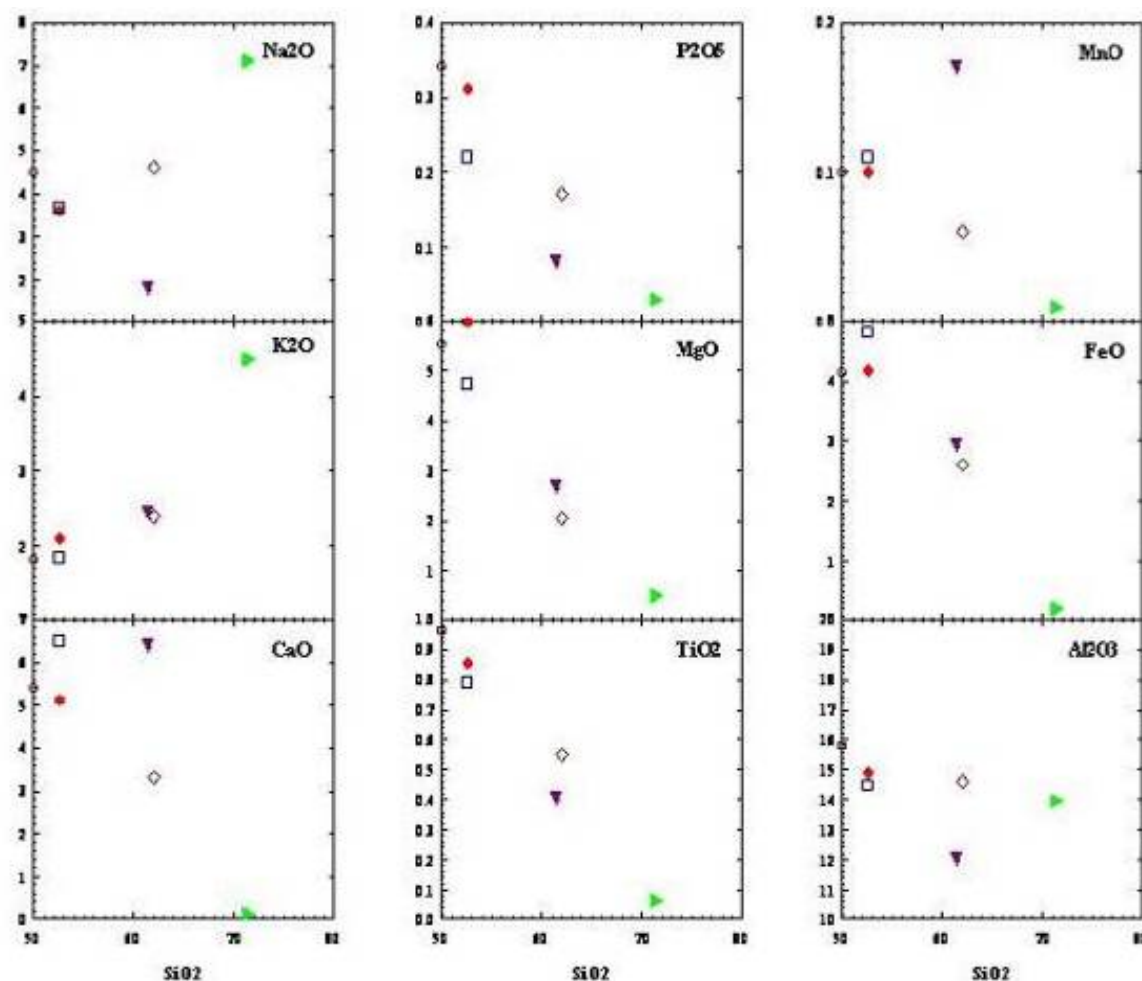


图 4.4 研究区岩浆岩的 Harker 图解

通过上述主量元素的分析,结合岩石的矿物组合特点,本区辉绿玢岩、闪长玢岩为高钾钙碱性玄武岩石;花岗细晶岩为造山后花岗岩类。

4.2 稀土元素地球化学特征

稀土元素是一组特殊的微量元素,在微量元素地球化学研究中占有很重要的地位。它们的地球化学性质非常相似,在自然界中紧密共生,相伴产出,容易保存,分布广泛等特点。因此稀土元素地球化学在岩石成因、成矿物源、成岩成矿物理化学条件等方面研究中得到广泛应用。

由表 4.1 可知,研究区岩浆岩的 $\sum\text{REE}=63.11\sim138.54\times10^{-6}$, 平均 115.61×10^{-6} ;

$\text{LREE}=61.56\sim130.59\times10^{-6}$, $\text{HREE}=1.55\sim12.04\times10^{-6}$; $\text{LREE}/\text{HREE}=10.29\sim39.72$;
 $\delta\text{Eu}=0.66\sim1.05$; $\delta\text{Ce}=0.98\sim1.00$; $(\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}}=13.62\sim94.08$; $(\text{La}/\text{Sm})_{\text{N}}=5.04\sim9.63$ 。
 稀土元素配分模型为轻稀土富集的右倾配分模型 (图 4.5)。

表 4.1 宝兴沟金矿区稀土元素分析结果表

样品号	BXG-2	BXG-4	BXG-17	BXG-20	BXG-24	BXG-29
样品名	矿石	闪长玢岩	石英闪长岩	辉绿玢岩	辉绿玢岩	花岗细晶岩
La	26.6	31.9	26.4	23.29	25.2	17.1
Ce	46.1	59.5	55.9	51.1	49.8	29.4
Pr	5.01	6.8	6.76	6.4	6.06	3.07
Nd	18.7	26.7	28.3	27.71	24.6	9.77
Sm	2.98	4.43	5.24	5.2	4.53	1.77
Eu	0.6	1.2	1.6	1.6	1.3	0.5
Gd	2.43	3.37	4.42	4.28	3.75	1.00
Tb	0.35	0.43	0.59	0.57	0.54	0.12
Dy	2	2	3	3	3	0
Ho	0.33	0.34	0.58	0.51	0.52	0.06
Er	0.9	0.9	1.6	1.4	1.4	0.2
Tm	0.13	0.12	0.24	0.19	0.21	0.02
Yb	0.77	0.69	1.39	1.12	1.22	0.13
Lu	0.12	0.1	0.22	0.17	0.19	0.02
Y	8.36	8.66	15	12.97	12.9	1.81
ΣREE	107.03	138.54	136.23	126.54	122.23	63.11
LREE	100.00	130.59	124.19	115.30	111.40	61.56
HREE	7.03	7.95	12.04	11.24	10.83	1.55
LREE/HREE	14.22	16.43	10.31	10.26	10.29	39.72
$\text{La}_{\text{N}}/\text{Yb}_{\text{N}}$	24.82	33.18	13.62	14.92	14.79	94.08
La/Yb	34.60	46.26	18.99	20.79	20.62	131.15
Gd/Yb	3.26	4.88	3.18	3.82	3.07	7.69
δEu	0.66	0.91	0.99	1.01	0.94	1.05
δCe	0.91	0.94	1.00	1.01	0.96	0.92
La/Sm	8.94	7.21	5.04	4.48	5.55	9.63
Sm/Nd	0.16	0.17	0.19	0.19	0.18	0.18

注：廊坊物化探研究所分析中心，2010

其中, 宝兴沟金矿床 I 号矿带(4 个样, BXG-2, 4, 17, 20) $\Sigma\text{REE}=107.03\times 10^{-6}\sim 138.54\times 10^{-6}$, $w(\text{LREE})/w(\text{HREE})=10.26\sim 16.43$, $(\text{La}/\text{Yb})\text{N}=14.92\sim 33.18$; $(\text{La}/\text{Sm})\text{N}=4.48\sim 8.94$, $\delta\text{Eu}=0.66\sim 1.01$; II 号矿带(2 个样, BXG-24, 29) $\Sigma\text{REE}=63.11\times 10^{-6}\sim 122.23\times 10^{-6}$, $w(\text{LREE})/w(\text{HREE})=10.29\sim 39.72$, $(\text{La}/\text{Yb})\text{N}=14.79\sim 94.08$, $(\text{La}/\text{Sm})\text{N}=5.55\sim 9.63$, $\delta\text{Eu}=0.77\sim 0.82$ 。

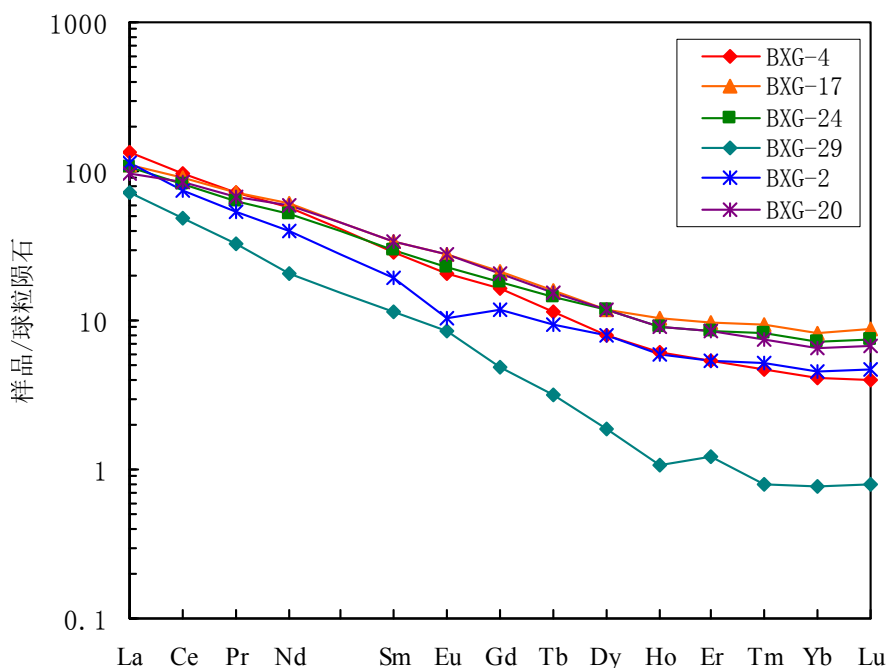


图 4.5 研究区稀土元素配分模式图

(球粒陨石标准化值引自 Sun and McDonough, 1989)

区内各类岩石稀土元素总量较小, 且差异较大, 最低花岗细晶岩 $\Sigma\text{REE}=63.11$, 最高为闪长玢岩 $\Sigma\text{REE}=138.54$; 稀土元素 LREE/HREE 比值 (10.26-39.72)、 $(\text{La}/\text{Yb})\text{N}$ (13.62-94.08) 较大, 反映其轻、重稀土分馏程度较高, 稀土元素配分模型为轻稀土富集的右倾配分模型, 但 HREE 相对于 LREE 亏损较大, 曲线相对平缓。这些特征表明区内岩浆中性成分较大, 具幔源特征。

δEu 总体介于 $\delta\text{Eu}=0.66\sim 1.05$ 之间, 除矿石 ($\delta\text{Eu}=0.66$) 呈现负异常外, 辉绿玢岩 (BXG-17、BXG-24)、闪长玢岩 (BXG-20) 呈现微弱负异常, 反映岩浆演化过程中没有发生明显的斜长石分离结晶作用, 表明围岩对成矿作用具有一定的贡献。

各岩石配分曲线与矿石相似, 表明矿石与围岩成矿关系密切; 而矿石与花岗细晶岩 (BXG-29, $\delta\text{Eu}=1.05$) 曲线形态差别较大, 表明花岗细晶岩与成矿关系不密切。

成对元素对比特征: 矿石具有中等的 Gd/Yb 、 La/Yb 和最高的 La/Sm 值 (不含花岗细晶岩), $\text{Sm}/\text{Nd}=0.16\sim 0.19$, 平均 0.18, 变化范围很小, 反映了岩石源岩

的同源特征。从而说明闪长玢岩、辉绿玢岩及二十二站组砂岩为该矿床提供一定的物质来源。

稀土总量 ΣREE 可以示踪金成矿作用信息, 其中宝兴沟金矿床的 I 号矿带矿石 (BXG-2) ΣREE 含量较其它岩体低, 而金品位较高, 从而说明该矿床围岩成矿稀土总量 ΣREE 较低时利于金矿成矿。

根据本区主量元素和稀土元素特征分析, 本区 SiO_2 含量变化为 50.06%~71.49%, 平均 58.37%; Al_2O_3 较高 (12.03%~15.76%, 平均 14.27%), 岩石富集轻稀土元素 (LREE), 亏损重稀土元素 (HREE), $w(\text{La})/w(\text{Yb}) > 10$ (18.9-131), 轻微负 Eu 异常 (δEu 平均值为 0.93), ΣREE 为 107.03-138.54 μg 。从总体来看, 与成矿关系密切的闪长玢岩、辉绿玢岩等岩石具有高钾钙碱性玄武岩石特征。

4.3 微量元素地球化学特征

4.3.1 微量元素特征

宝兴沟金矿床各岩性的微量元素及成矿元素含量见表 4.2。

表 4.2 宝兴沟金矿床微量元素含量分析结果表
($\times 10^{-6}$)

样品号	BXG-2	BXG-4	BXG-17	BXG-20	BXG-24	BXG-29
样品名	矿石	闪长玢岩	石英闪长岩	辉绿玢岩	辉绿玢岩	花岗细晶岩
Th	5.242	6.578	5.117	3.616	5.86	14.33
U	0.615	0.966	1.02	0.951	1.29	2.035
K	1.5127	1.7284	3.7141	1.5243	2.0338	1.9824
Ta	0.397	0.595	0.4321	0.442	0.4807	1.3285
Nb	4.738	7.903	5.371	6.636	6.295	10.88
La	26.64	31.92	26.39	23.29	25.16	17.05
Ce	46.07	59.52	55.87	51.1	49.84	29.41
Pb	9.18	11.58	12.11	10.78	15.76	13.84
Pr	5.01	6.8	6.76	6.4	6.06	3.07
P	0.1485	0.137	0.0125	0.0966	0.0346	0.0753
Nd	18.67	26.74	28.3	27.71	24.55	9.77
Zr	134.19	174.93	92.925	93.87	137.13	86.1
Hf	4.727	5.7644	3.8448	2.3787	5.5022	5.1493
Sm	2.983	4.434	5.24	5.202	4.525	1.765
Eu	0.636	1.205	1.572	1.592	1.292	0.518
Ti	0.5773	0.5074	0.0341	0.4711	0.2415	0.3299
Dy	1.84	2.083	3.224	3.038	2.884	0.464
Y	8.36	8.66	14.99	12.97	12.91	1.81
Ho	0.329	0.335	0.578	0.511	0.523	0.064
Yb	0.766	0.685	1.389	1.121	1.222	0.129
Lu	0.119	0.104	0.217	0.17	0.188	0.019

注: 廊坊物化探研究所分析中心, 2010

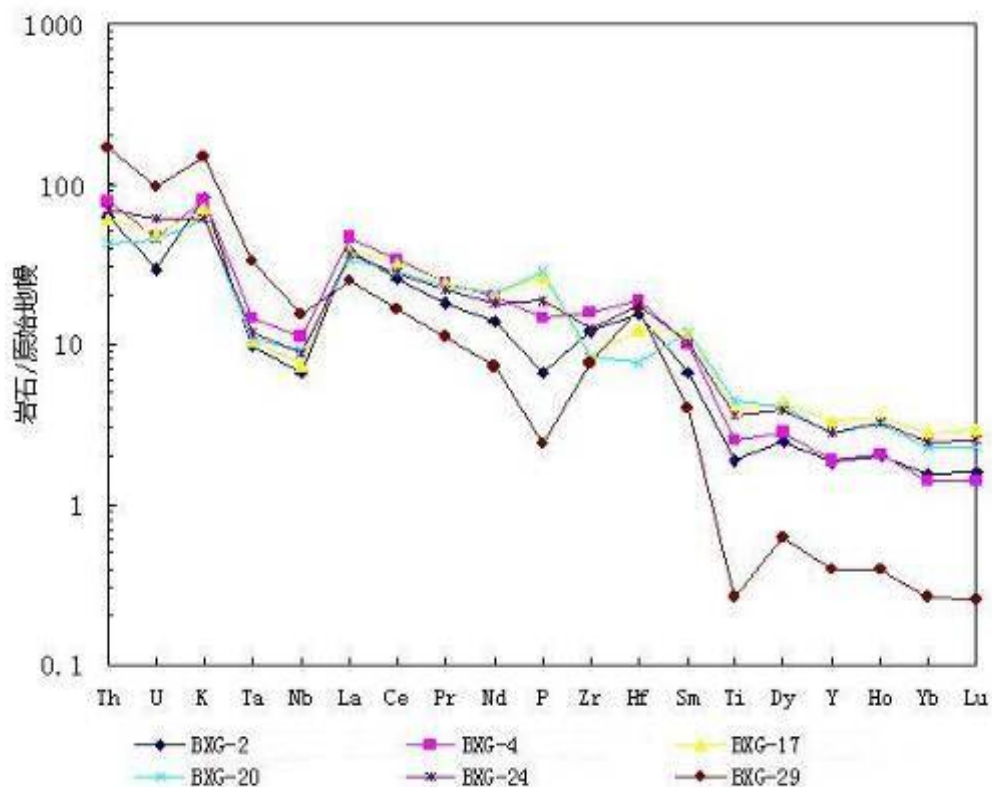
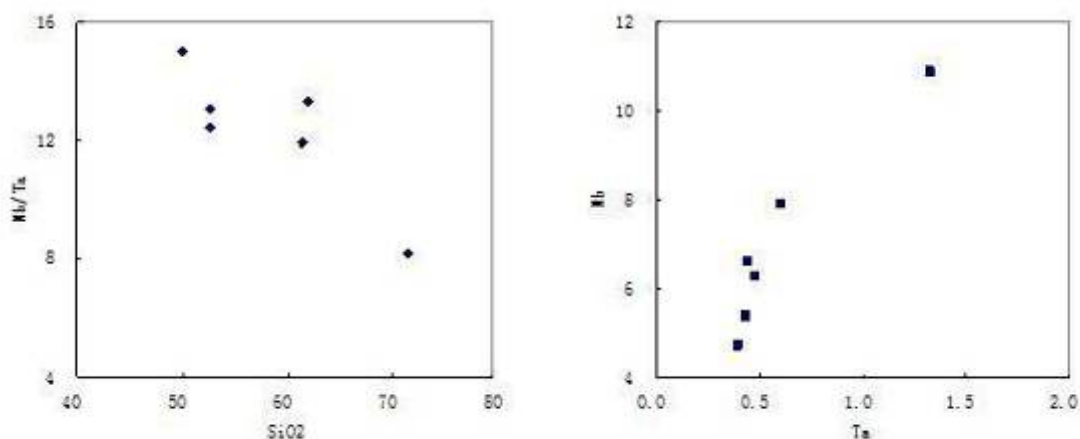


图 4.6 研究区微量元素原始地幔标准化蛛网图

在微量元素原始地幔标准化蛛网图上（图 4.6），宝兴沟金矿床的岩浆岩除 BXG-29 花岗细晶岩略有差异外均具有相似的配分模式，表明它们具有同源的特征。亏损高场强元素 Nb、Ta、Ti、Zr 和重稀土元素 Yb、Y，富集大离子亲石元素 Th、K，还富集 La、Ce，Nb-Ta 槽等说明该区岩浆岩与陆壳关系密切。

图 4.7 研究区岩浆岩 Nb/Ta-SiO₂ 和 Nb-Ta 图解

Nb 与 Ta 是高场强稳定元素，离子半径相近，地球化学性质相同，故利用 Nb 与 Ta 比值可以探讨岩浆成因(Foley, 1984)。一般而言，同源岩浆的比值相同，在没有外来物质加入前提下，岩浆演化的 Nb/Ta 比值可以保持一个稳定值(J.Dostal et al.,

2000)。在 Nb-Ta 图解(图 4.3)中,研究区岩浆岩的 Nb 与 Ta 表现出一致的线性相关性,说明该区岩石具有相同的源区特征。Nb/Ta 比值变化较大,但随着 SiO₂ 的升高, Nb/Ta 比值呈线性降低趋势。实验研究表明,金红石的存在能引起 Nb、Ta 的分馏,从而导致 Nb/Ta 比值的增大(Jochum KP, McDonough W F. et al., 1989; Foley S, 2000)。故其原因可能为俯冲的大洋板块脱水产生上升的流体相,该流体与金红石平衡时,形成一个富 Nb 金红石难熔相和一个与其耦合的富钽流体,这一流体长期作用于上覆的岩石圈板块,使其 Nb/Ta 比值下降;该 Nb、Ta 分馏过的岩石圈为源区熔融便产生具有和研究区岩浆岩 Nb/Ta 值相近的熔体。

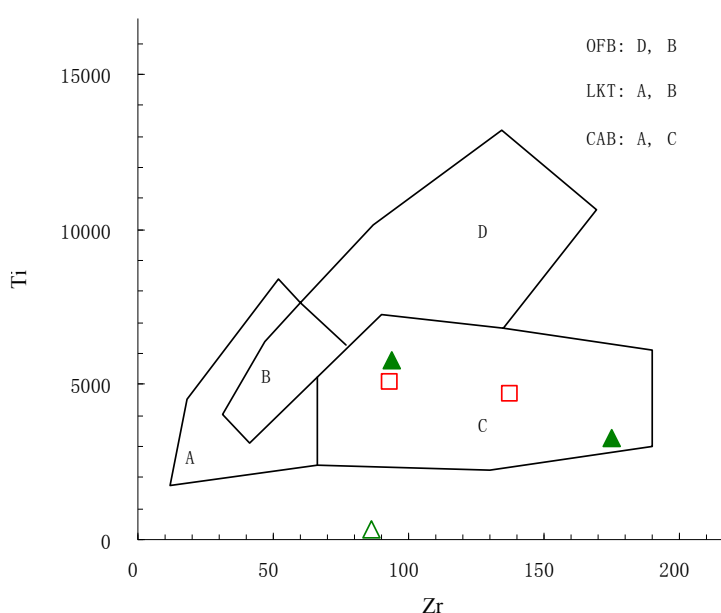


图 4.8 研究区玄武岩构造环境 Ti-Zr 判别图解

在玄武岩构造环境 Ti-Zr 判别图解(图 4.8)中辉绿玢岩和闪长玢岩均投点至 C 区,进一步说明该区辉绿玢岩和闪长玢岩为钙碱性玄武岩。

4.3.2 成矿元素富集与变异特征

为进一步探讨成矿元素与成矿的关系,对区内岩石进行了系统取样分析并对成矿元素(共 47 件,表 4.3)进行了地球化学参数的统计,并进行了详细研究。成矿元素的富集特征、变异系数见表 4.4。

由表中数据可见, Au、Ag、As、Sb 等元素含量相对富集,处于区域高背景场上;而 Hg、Mo、W、Ni 等元素均相对较低,处于区域低背景场上。其中的 Au、Ag、As 等元素在区内则显示了相对较高的含量,说明 Au 等具备较为富集的特点。

表 4.3 宝兴沟金矿床成矿元素含量分析结果表
(Au、Ag、Hg $\times 10^{-9}$, 其他 $\times 10^{-6}$)

监控样	Au	Ag	As	Co	Cu	Hg	Mo	Ni	Pb	Sb	W	Zn
BXG-2	918	190	5107.1	9.87	2.7	151	1.605	28.42	9.18	89.594	1.669	36.63
BXG-4	6.3	24	16.6	10.76	5.54	10.5	0.507	12.86	11.58	2.548	0.938	77.41
BXG-17	2.44	76	6.0	24.4	28.34	4.5	0.406	32	12.11	1.659	0.524	81.78
BXG-20	2.48	124	65.0	27.71	24.89	20.5	0.46	29.36	10.78	21.944	0.631	95.65
BXG-24	2.32	447	17.6	27.23	134.06	12.5	1.198	41.69	15.76	7.335	1.087	93.11
BXG-25	4.53	812	86.5	6.2	125	26.0	1.44	9.8	22.1	3.99	5.44	75.3
BXG-27	14.73	492	98.7	11.3	22.1	70.0	0.82	19.2	12.5	23.95	4.81	31.9
BXG-28	617.65	483	2217.2	6.9	24.5	106.5	2.18	16.9	27.2	59.07	6.84	46.9
BXG-29	1.48	278	6.2	0.56	2.54	18.5	0.174	2.41	13.84	3.253	0.436	43.69
BXG-30	78.01	2273	370.8	9.5	48.1	356.5	0.59	20.4	676.8	183.78	2.10	1029.9
BP1-1	4.13	46	179.3	11.3	13	6.5	0.79	11.7	10.9	7.97	6.60	52.2
BP1-2	6.84	45	35.4	23.2	8.7	6.0	0.73	67.3	7.1	6.62	7.56	71
BP1-3	1.36	82	18.0	7.8	11.7	6.0	0.69	6.0	10.5	4.44	3.78	49.9
BP1-4	4.48	71	121.5	9.1	14.3	5.0	0.78	7.4	10.3	6.71	8.16	43.3
BP1-5	2.34	32	35.9	5.6	5.5	5.5	0.37	9.2	7.2	6.47	3.81	24.5
BP1-6	15.47	84	275.4	14.1	14.8	7.0	3.01	8.3	13.2	8.57	11.11	67.4
BP1-7	112.90	77	918.6	7.6	16.9	7.5	0.94	7.9	10.1	13.34	41.96	36.3
BP1-8	94.15	4051	1626.8	9.9	224.8	19.5	0.89	12.5	187.6	162.81	14.18	184.2
BP1-9	754.00	878	4353.4	6.9	27.4	15.0	0.49	13.3	105.5	31.18	8.84	85.2
BP1-10	535	1025	6367.9	3.9	32.7	40.0	0.63	6.9	123.5	42.61	15.44	73.7
BP1-11	220.00	3103	11183.5	11.4	144	11.5	1.82	14.4	446.6	29.11	10.51	93.1
BP1-12	5.58	200	785.1	21.4	34.9	7.0	0.43	43.8	40.3	16.82	6.53	221.9
BP1-13	19.73	636	1220.8	3.8	59.9	11.0	0.45	9.3	119.0	10.34	6.38	135.5
BP1-14	2.48	314	132.0	6.2	125	6.0	0.74	10.4	16.0	9.26	4.10	49.1
BP1-15	2.04	122	106.2	17.8	54.6	6.5	1.37	22.6	23.7	5.97	0.96	102.5
BP1-16	3.96	125	111.2	11.3	96.2	7.0	0.71	19.2	17.3	6.63	4.75	76.5
BP2-1	2.05	67	43.1	1.6	7.6	13.5	1.86	4.6	20.7	2.55	2.03	28.6
BP2-2	0.67	46	27.5	0.8	3.3	7.5	1.13	2.6	19.0	1.63	1.83	26
BP2-3	0.81	34	13.2	15.2	21.4	4.5	0.85	8.8	14.8	4.10	1.72	84.2
BP2-4	2.12	69	34.2	14.9	23.4	5.0	1.33	12.9	12.0	3.32	1.28	82.5
BP2-5	1.66	70	103.7	14.1	19.6	6.5	0.67	11.5	14.1	3.64	1.50	90
BP2-6	3.46	116	93.7	1	6.4	6.5	0.39	4.2	24.6	13.09	1.82	86.4
BP2-7	4.33	113	17.7	1.7	10.7	5.5	0.43	4.7	29.1	17.96	1.76	118.8
BP2-8	7.37	160	18.5	8.6	64.5	11.5	0.86	17.2	13.6	35.16	2.32	267.6
BP2-9	83.33	616	13.2	10.2	325.9	20.5	0.91	38.2	13.2	250.65	5.58	609.3
BP2-10	9.65	367	21.6	11.9	164.3	16.5	1.7	20.5	204.6	101.36	24.50	356.5
BP2-11	1.66	251	353.3	5.2	29.8	7.5	1.31	7.2	22.7	14.99	6.36	180.9
BP2-12	49.38	1442	18.5	1.7	63.8	89.5	0.48	6.4	218.4	37.30	14.73	178.7
BP2-13	12.52	712	19.7	3.1	51.2	25.0	0.91	14.5	204.1	14.75	6.80	482.8
BP2-14	1.88	82	324.9	5.4	12.7	13.5	1.72	15.4	16.0	7.76	6.06	334.6
BP2-15	8.73	84	986.9	6.1	20.6	42.5	0.51	13.8	35.0	5.64	4.84	234.9
BP2-16	1.00	50	93.7	17.8	27	6.5	0.55	60.9	7.5	2.87	0.97	83.4
BP2-17	5.69	123	188.0	7.2	21	9.0	0.25	14.3	27.0	3.95	2.33	43.1

注：廊坊物化探研究所分析中心，2010

表 4.4 区内成矿元素富集与变异特征

元素	最大值	最小值	平均值	标准离差	浓集系数	变异系数	大陆上地壳平均值
Au	1275.45	0.67	112.90	167.00	112.90	2.39	1.80
Ag	12868.60	24.00	744.71	880.46	7.92	2.65	50.00
As	11183.52	5.99	870.65	1202.22	91.65	2.37	1.50
Co	27.71	0.56	10.13	5.46	0.84	0.71	10.00
Cu	325.90	2.54	51.26	44.42	2.77	1.26	25.00
Hg	356.45	4.45	29.61	30.88	0.64	1.95	12.30
Mo	3.01	0.17	0.98	0.48	0.67	0.62	1.50
Ni	67.30	2.41	17.42	10.64	0.72	0.84	20.00
Pb	1090.30	7.10	85.18	107.43	3.82	2.27	20.00
Sb	430.74	1.17	38.14	44.36	62.52	2.03	0.20
W	41.96	0.44	6.51	5.03	3.52	1.25	2.00
Zn	1029.90	24.50	138.81	108.70	1.95	1.29	71.00

从总的含量特征来看,区内所有元素的含量与全省平均值存在差距,尤其 Au、As 等元素的高含量特征或许与后期的成矿活动有关。根据元素变异系数特征,As、Sb、Hg 元素变异系数较大,显示其存在较强的后期叠加富集特征,同时反映区内成矿作用以中、低温热液成矿为特征。

从元素含量分布的直方图(4-9~14)看,全部 12 个元素基本服从正态分布,但所有元素均存在相对高值,反映存在区域热液活动,导致出现部分叠加富集场特征。综合研究认为,Au、As、Ag、Pb、Sb、Hg 等元素的叠加富集场较为明显,确定这些显示多峰特征或不同母体叠加现象的元素,具备区域成矿的可能性。元素含量分布基本服从正态分布或对数正态分布,局部叠加活化富集场特征,说明区内的元素具有不稳定的含量区间,即众值不明显。也说明该区处于不稳定的地球化学场上,历次地质作用或成矿作用对于元素含量的影响很大,有利于形成一定规模的矿体或矿化。

4.3.3 元素共生组合特征

为了解测区内元素的共生组合关系及元素间的相关程度,深刻认识测区内元素的成矿富集规律,根据元素相关系数(表 4.5),对测区内的全部分析数据进行了 R 型聚类分析(图 4.15)。

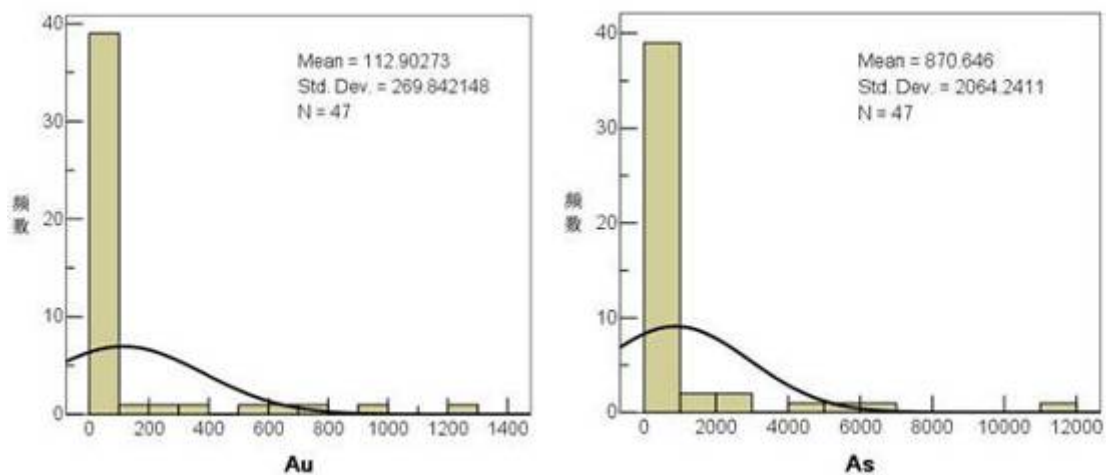


图 4.9 宝兴沟矿区 Au、As 元素统计分布直方图

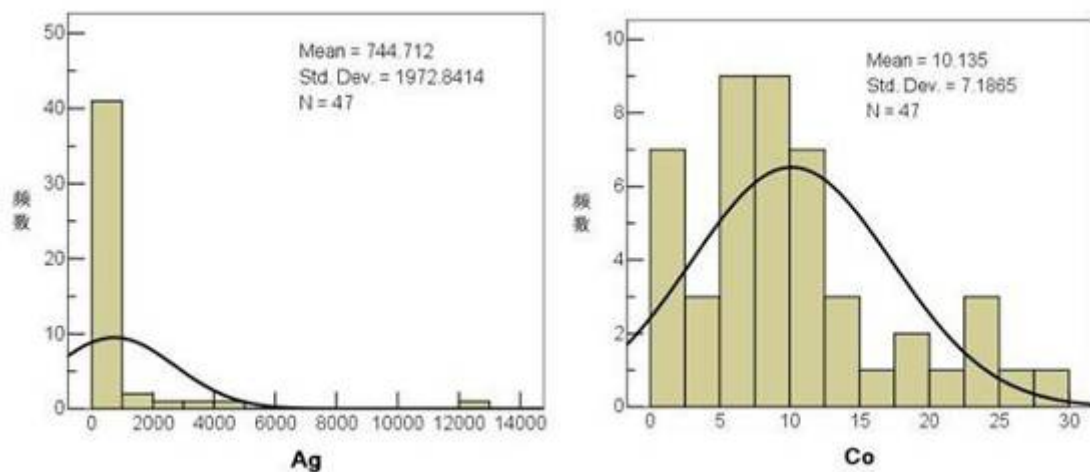


图 4.10 宝兴沟矿区 Ag、Co 元素统计分布直方图

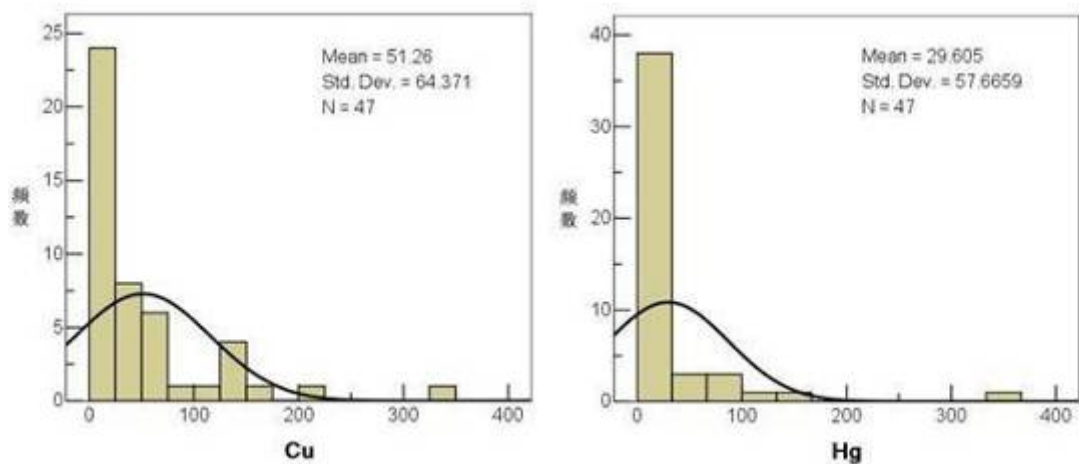


图 4.11 宝兴沟矿区 Cu、Hg 元素统计分布直方图

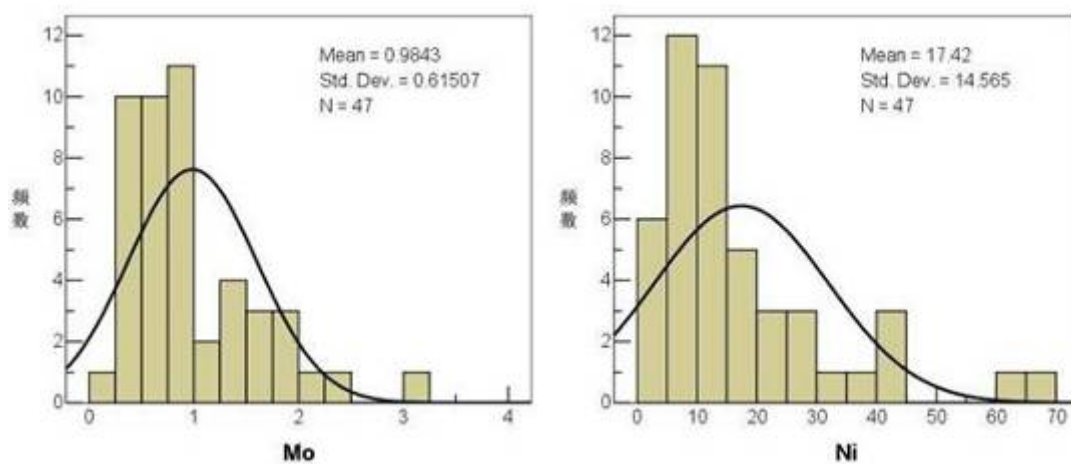


图 4.12 宝兴沟矿区 Mo、Ni 元素统计分布直方图

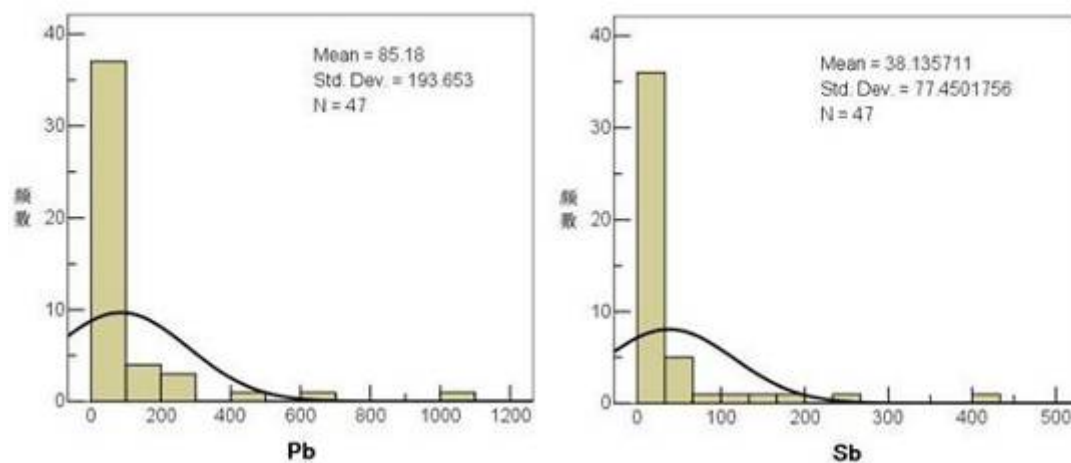


图 4.13 宝兴沟矿区 Pb、Sb 元素统计分布直方图

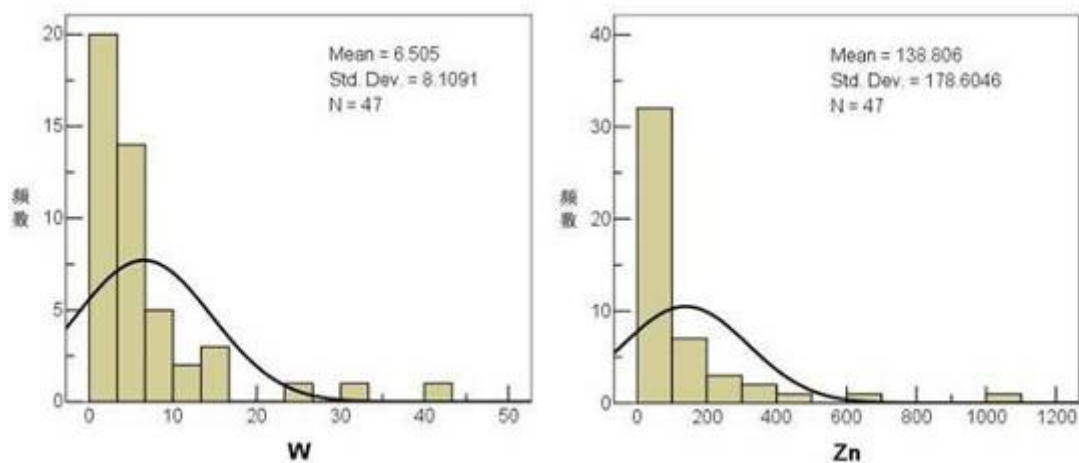


图 4.14 宝兴沟矿区 W、Zn 元素统计分布直方图

表 4.5 成矿元素含量 R 型聚类谱系

Stage	ClusterCombined		Coefficients	StageClusterFirstAppears		Next Stage
	Cluster1	Cluster2		Cluster1	Cluster2	
1	Ag	Pb	0.89	0	0	2
2	Ag	Sb	0.81	Au	0	4
3	Co	Ni	0.75	0	0	11
4	Au	Ag	0.61	0	Ag	6
5	Hg	Zn	0.60	0	0	9
6	Au	W	0.45	Co	0	7
7	Au	Cu	0.30	Hg	0	9
8	As	Mo	0.24	0	0	10
9	Au	Hg	0.18	Mo	Cu	10
10	Au	As	0.10	Pb	Ni	11
11	Au	Co	-0.07	Sb	As	0

由图 4.15 可以看出, 区内 12 种元素的相关性一般, 当阈值取 0.60 时, 成矿元素合并为 Ag-Pb-Sb-Au、Cu、W、Hg-Zn、As、Mo、Co-Ni 七个组合; 当阈值取 0.30 时, 成矿元素合并为 Ag-Pb-Sb-Au-Cu-W 和 Hg-Zn、As-Mo、Co-Ni 四个组合; 在阈值取 0.20 时, 成矿元素中 Ag-Pb-Sb-Au-Cu-W-Hg-Zn-As-Mo、Co-Ni 两个组合; 成矿元素组合反映区内存在金及多金属成矿潜力, 成矿元素组合为中低温组合 Ag-Pb-Sb-Au 和 Hg-Zn。同时表明, 区内找寻 Au 矿化, 可利用 Ag、Pb、Sb 等元素异常作为标志。

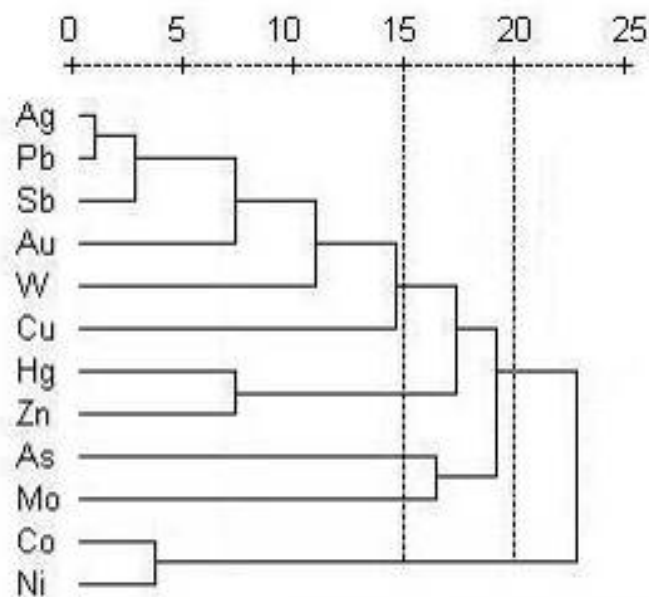


图 4.15 宝兴沟矿区成矿元素 R 型聚类谱系图

由相关系数可见,相关性最强的两种元素为 Ag、Pb,其相关系数为 0.89。反映区的地球化学场具有不太稳定的特点,区内存在一种或几种能使地球化学性质相似的元素共同富集的地球化学作用,因而区内可以形成元素组合复杂、面积大、强度高的异常。

成矿元素的因子分析结果(表 4.6)同样表明,本区成矿元素来源复杂,成矿作用受多种因素控制。取六个主因子时 Mo、As、Cu 等变量的主因子载荷仍难于集中。

表 4.6 成矿元素旋转因子解特征

元素	F1	F2	F3	F4	F5	F6	方差贡献
Au	0.748	-0.029	0.020	-0.247	0.476	0.115	0.862
Ag	0.949	-0.081	0.009	0.101	0.046	-0.048	0.922
As	0.096	-0.045	0.005	0.062	0.968	0.116	0.965
Co	-0.152	0.913	-0.088	0.024	-0.073	0.072	0.875
Cu	0.280	0.116	0.055	0.912	0.052	0.034	0.930
Hg	0.211	-0.003	0.897	-0.207	0.138	0.077	0.917
Mo	0.019	0.047	0.017	0.022	0.126	0.978	0.976
Ni	-0.063	0.931	0.092	0.084	0.016	-0.020	0.887
Pb	0.848	-0.115	0.336	0.094	0.074	-0.081	0.866
Sb	0.860	0.006	0.289	0.299	-0.024	0.003	0.914
W	0.625	-0.236	-0.236	0.230	-0.007	0.190	0.591
Zn	0.032	0.020	0.846	0.415	-0.156	-0.068	0.918
特征值	3.470	1.793	1.792	1.280	1.239	1.046	
百分比	28.920	14.946	14.934	10.670	10.328	8.715	

根据因子载荷, F1 因子控制 Au-Ag-Pb-Sb-W; F2 因子控制 Co-Ni; F3 因子控制 Hg-Zn- (Pb); 而 Cu、As、Hg 分别受 F4、F5、F6 控制。从主因子特征值及其所占百分比, 考虑聚类分析结果, 可以确定本区最有希望的成矿组合为 Au、Ag、Pb、Sb、W、Cu, 其次是 Zn。金矿体中与 Au 共生元素为 Ag、Pb、Sb、W、Cu, 而 Zn 常单独构成矿化或矿体, 黄铁矿与 Au 关系密切, 而毒砂与金关系不大。这一特征与野外观察矿石矿物组成特征一致。

第 5 章 成矿地质条件及成因探讨

矿床地质研究及矿产勘查实践证明，任何在矿带或矿带的形成都直接受区域构造背景及其演化特征所控制；而具体矿床则产出于区域构造演化的特定阶段和含矿建造的特定层位中，是复杂地质作用综合的结果。研究分析成矿地质条件及控矿特征，对总结成矿规律，确定成矿机制和指导成矿预测均具有重要意义。

5.1 地层条件

5.1.1 地层对金矿化体的控制作用

根据前人研究成果，二十二站组、额木尔河组砂岩的金平均丰度为 2.21×10^{-9} （据武警黄金第三支队，赵炳新，2010），具有矿源层特征。在宝兴沟矿区，12 件二十二站组砂岩样品（不含矿体部分样品）的金平均含量达 19.55×10^{-9} ，明显高于区域背景丰度，且离散度较大，表明二十二站组砂岩对金矿化富集具有重要控制作用，它不仅构成金矿体的容矿围岩，而且可以直接构成金矿石。

5.1.2 成矿元素的浓集特征

表 5.1 中统计了区内二十二站组砂岩成矿元素的浓集系数和变异系数。浓集系数是岩石平均含量与区域平均值之比，反映了岩石中成矿元素的相对富集特征；变异系数是标准差与平均值之比，反映了岩石中元素含量变化离开均值的相对变化幅度，换句话说，反映了岩石中元素含量叠加特征，变异系数越大，越有利于成矿。从表中可以看出 Au、As、Sb、Ag 等相对富集，且变异系数相对较大，表明二十二组砂岩为金矿成矿提供了主要物质来源。

表 5.1 砂岩成矿元素富集与变异特征

(Au、Ag、Hg $\times 10^{-9}$ ，其他 $\times 10^{-6}$)

岩性	最大值	最小值	平均值	标准离差	浓集系数	变异系数	大陆上地壳平均值
Au	1275.45	1.36	234.70	300.41	130.39	1.28	1.80
Ag	12868.60	32.20	1218.63	1609.12	24.37	1.32	50.00
As	6367.89	8.33	1230.69	1586.48	820.46	1.29	1.50
Co	27.71	1.20	11.30	5.04	1.13	0.45	10.00
Cu	325.90	2.70	63.59	65.16	2.54	1.02	25.00
Hg	151.00	4.95	26.76	24.48	2.18	0.91	12.30
Mo	3.01	0.37	1.11	0.56	0.74	0.50	1.50
Ni	67.30	4.30	19.79	12.55	0.99	0.63	20.00
Pb	1090.30	7.10	103.41	132.71	5.17	1.28	20.00
Sb	430.74	1.17	71.47	75.31	357.36	1.05	0.20
W	41.96	0.63	10.70	8.32	5.35	0.78	2.00
Zn	609.30	24.50	124.09	102.36	1.75	0.82	71.00

与邻区大型的砂宝斯金矿相比,两者产出的地质环境均是早白垩世陆相火山岩大面积分布的拗陷盆地,矿体均赋存于侏罗系中统二十二站组砂岩中,表明宝兴沟金矿区侏罗系二十二站组在成矿作用中起到了重要的作用,并具备形成大矿的找矿潜力。

5.2 岩浆岩条件

5.2.1 岩浆岩对金矿成矿的控制作用

矿区位于脉岩分布区,浅成脉岩的出露在某种意义上表明,该地区已抬升剥蚀到找矿有利部位。脉岩(浅成玢岩体)为金矿床的形成提供了充足的成矿物质、热源及热动力条件。玢岩体沿断裂构造侵入到侏罗系地层过程中,岩浆热液携带成矿物质与地层内的裂隙水、吸附水和部分矿物结晶水在热动力作用下同围岩发生水-岩反应,反应的结果势必改变流体的化学成分,流体化学成分的改变可以增强成矿元素的溶解度而使成矿物质从围岩中萃取出来。当含矿流体运移到一定的部位,同地下水发生混合,因温度、压力、化学性质的改变而使成矿元素发生沉淀富集而在岩体接触带附近的减压扩容空间内沉淀,经多期成矿叠加后成矿。因此玢岩体为矿体的形成提供了热液和热源和部分成矿物质(据武警黄金第三支队,赵炳新,2010)。即研究区矿体主要受钙碱性辉绿玢岩、闪长玢岩等浅成侵入体控制,矿体产于与地层的接触部位。

5.2.2 岩浆岩成矿元素浓集特征

对区内主要岩浆岩的浓集系数和变异系数(29件样品,表5.2)计算结果表明,除Co、Ni和Mo以外,其它元素具有明显的富集特征,如As达431.45、Sb为87.22、Au为20.72等,表明岩浆岩(辉绿玢岩、闪长玢岩)为多金属成矿提供了部分成矿物质来源。但Au元素的变异系数为1.22,为本区最高利于金矿成矿,显示岩浆岩对本区金矿成矿有重要控制作用。

表 5.2 研究区花岗质岩浆岩成矿元素富集与变异特征

(Au、Ag、Hg $\times 10^{-9}$, 其他 $\times 10^{-6}$)

元素	最大值	最小值	平均值	标准离差	浓集系数	变异系数	大陆上地壳 平均值
Au	617.65	0.67	37.30	45.40	20.72	1.22	1.80
Ag	3102.60	24.00	450.56	315.72	9.01	0.70	50.00
As	11183.52	5.99	647.17	319.68	431.45	0.49	1.50
Co	27.23	0.56	9.41	5.77	0.94	0.61	10.00
Cu	144.00	2.54	43.60	27.66	1.74	0.63	25.00
Hg	356.45	4.45	31.37	34.79	2.55	1.11	12.30
Mo	2.18	0.17	0.90	0.40	0.60	0.45	1.50
Ni	60.90	2.41	15.95	9.15	0.80	0.57	20.00
Pb	676.80	7.50	73.86	68.08	3.69	0.92	20.00
Sb	183.78	1.63	17.44	16.36	87.22	0.94	0.20
W	14.73	0.44	3.90	2.33	1.95	0.60	2.00
Zn	1029.90	26.00	147.94	111.37	2.08	0.75	71.00

5.3 构造条件

前已述及,区内主要为断裂构造和环状构造,断裂构造主要有北东向、北西向、南北向、东西向断裂。区内环状构造发育,北西部多个环状构造呈北西线状定向分布,具有 NW 成带、NE 成串、复合地段成片的分布规律。区内有多条遥感解译蚀变带(区),其中北北东向蚀变带与发现的矿体吻合较好。环状构造多数可能与燕山晚期岩浆浅成—超浅成侵入活动有关,除少数已有岩体出露外,其它环形构造可能存在隐伏岩体,有利于金矿成矿。

目前矿区内发现的金矿体均产于北东向的构造破碎带内(图 5.1),北东向构造对成矿的控制作用明显。从土壤测量异常图上可以看出,所有异常均呈北东向断裂构造控制,总体上化探异常具有北东成带的特征,显示北东向线性构造是本区的重要控矿条件。从多元素的异常分布特征及区内构造特征可以看出,Au 异常受区内 NW 向基底构造控制,总体呈现北西向分布特征,单异常受 NE 向构造控制,呈 NE 向分布 Ag、As、Sb、Cu、Pb 异常总体呈 NW 向分布,说明了构造活动的多期性,元素分布特征受构造控制。

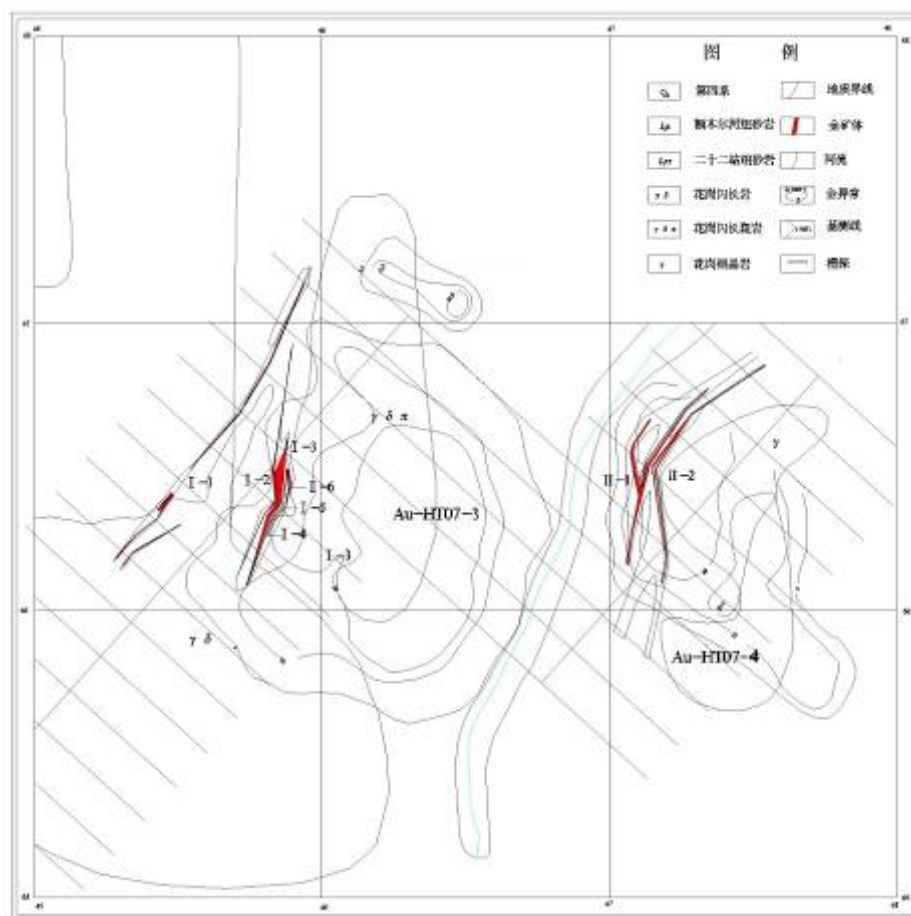


图 5.1 Au-HT07-3、Au-HT07-4 号异常分布图

综上所述,北东向断裂构造及岩体接触带构造控制矿体的形态、规模及产状,构成金矿成矿的重要地质条件。

5.4 矿床成因

5.1.1 成矿物质来源

从地层条件分析可知,在地层中 Au、As、Sb、Ag 等相对富集,而变异系数相对较大,表明地层为多金属成矿提供了主要成矿物质;燕山期的辉绿玢岩、闪长玢岩本身金属含量较高,一般有较强的黄铁矿化、黄铜矿化、方铅矿化,特别是闪长玢岩含金量较高,形成含金丰度较高的矿源层,为金矿成矿提供部分矿质来源。随着玢岩和花岗细晶岩脉侵入,岩浆后期含金热液沿北东向次级断裂运移沉积、富集形成金矿体。

另外由稀土及微量元素分析得知,围岩对成矿作用具有一定的贡献,围岩与成矿关系密切。这与矿脉产于玢岩体与地层的接触部位是一致的。

5.4.2 成矿流体特征

运用 Lin Kan THMS-60 型冷热台对上述三类包裹体分别进行了均一及冷冻法测温,对矿区内矿石流体进行了系统研究,由吉林大学流体实验室测得(表 5.3),论述如下:

表 5.3 宝兴沟金矿床矿石流体包裹体测温结果统计表

包体类型	大小	气液比	Ti (°C)	Tht (°C)	S (wt%NaCl)	ρ (g/cm ³)	P (MPa)	Hs (km)
含子矿物三项包裹体	12	15		313.5	39.23	1.07	53.19	1.77
含子矿物三项包裹体	14	20		294.8	37.77	1.07	49.38	1.65
含子矿物三项包裹体	12	15		315.4	39.39	1.07	53.58	1.79
含子矿物三项包裹体	9	20		314.7	39.33	1.07	53.43	1.78
气液两相包裹体	8	10	-4.7	290.4	7.44	0.80	27.16	0.91
气液两相包裹体	12	15	-10.2	289.9	14.20	0.87	33.96	1.13
气液两相包裹体	8	30	-10.6	267.8	14.63	0.91	31.71	1.06
气液两相包裹体	6	20	-9.7	297.2	13.66	0.86	34.31	1.14
气液两相包裹体	9	20	-7.4	278.7	10.99	0.86	29.74	0.99
气液两相包裹体	10	15	-8.8	319.6	12.65	0.82	35.88	1.20
气液两相包裹体	9	15	-8.3	305.7	12.07	0.83	33.73	1.12
气液两相包裹体	7	25	-5.8	294.4	8.94	0.81	29.25	0.97
气液两相包裹体	6	25	-7.6	283.8	11.23	0.85	30.52	1.02
气液两相包裹体	7	10	-8.4	286.8	12.19	0.86	31.76	1.06
气液两相包裹体	6	15	-6.7	274.6	10.11	0.85	28.46	0.95
气液两相包裹体	8	20	-9.4	268.9	13.33	0.89	30.77	1.03
气液两相包裹体	8	15	-10.8	296.7	14.84	0.87	35.32	1.18
气液两相包裹体	10	10	-7.6	312.5	11.23	0.81	33.61	1.12
气液两相包裹体	9	10	-6.8	304.6	10.24	0.81	31.70	1.06
气液两相包裹体	12	15	-7.7	308.8	11.36	0.82	33.34	1.11
气液两相包裹体	8	10	-8.9	286.4	12.77	0.86	32.25	1.08
气液两相包裹体	6	20	-6.4	285.8	9.73	0.83	29.22	0.97
气液两相包裹体	9	25	-7.3	296.7	10.87	0.83	31.53	1.05
气液两相包裹体	8	10	-6.2	289.6	9.47	0.83	29.34	0.98
气液两相包裹体	7	15	-5.8	266.9	8.94	0.85	26.52	0.88

本区流体包裹体不太发育，以气液两相包裹体为主。本次测得样品 1 件，为 I 号矿体矿石，石英脉较为发育，其内发育有原生流体包裹体，形态以椭圆状为主，直径一般为 8-12 μm ，个别达 14 μm 。主要包裹体类型分为 I 型含子矿物三相包裹体和 II 型气液两相包裹体。

I 型含子矿物三相包裹体室温下由水溶液，气泡和子矿物组成。由于该类包裹体数量较少，测温过程中仅观测到 4 个包裹体的相变化，而且子矿物消失不明显。气液比相对稳定，一般为 15-20%。均一温度为 294.8~315.4 $^{\circ}\text{C}$ （表 5.4）据 Hall（1988）Sterner（1988）等人公式，估算该类包裹体对应盐度 $w(\text{NaCl}_{\text{eq}})$ 为 37.77%~39.33%。

II 型气液两相包裹体在室温下由气泡和水溶液两相组成，共观测到 21 个相变化。气液比在 15-60%之间变化，多数集中在 10-20%之间，包裹体大小在 6-12 μm 之间。冰点温度在 -4.7—10.8 $^{\circ}\text{C}$ 之间，对应热液盐度为 7.44-14.84%，主要集中在 10-13%（图 5.2），平均为 11.47%；包裹体以均一到液相方式为主，其均一温度变化范围为 266.9-319.6 $^{\circ}\text{C}$ 之间，峰值在 280-290 $^{\circ}\text{C}$ 之间（图 5.3）。

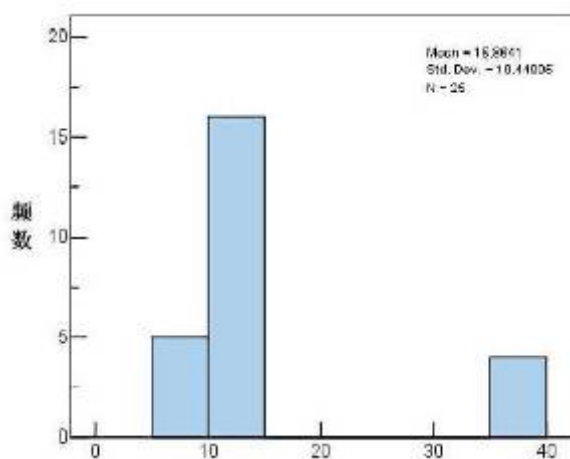


图 5.2 气液两相包体盐度直方图

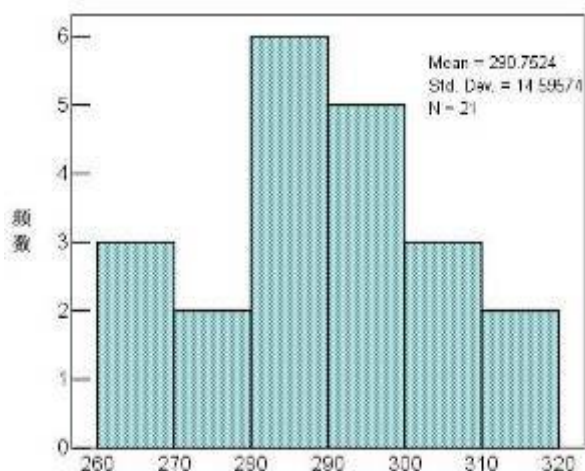


图 5.3 气液两相包体均一温度直方图

根据包裹体的均一温度和盐度值，计算流体密度为 0.81-1.07 g/cm^3 （表 5.3）。根据经验公式计算出成矿压力及成矿深度：

$$T_0 (\text{初始温度}) = 374 + 920N (\text{成矿溶液的盐度}) (^{\circ}\text{C});$$

$$P_0 (\text{初始压力}) = 219 + 2620N (\text{成矿溶液的盐度}) (\times 10^{-5} \text{Pa});$$

$$H_0 (\text{初始深度}) = P_0 \times 10^{-5} / 300 (\text{Km});$$

$$P (\text{成矿压力}) = P_0 \times T_1 (\text{矿区实测成矿温度}) / T_0 (\text{Pa});$$

$$H_s (\text{成矿深度}) = P_1 \times 10^{-5} / 300.$$

计算结果为成矿压力为 27.16-35.88Mp，成矿深度为 0.88-1.2km。

5.4.3 成矿时代

从矿床矿体的空间分布上看，研究区的成矿明显受燕山期晚期岩浆活动的控制，岩

浆的侵入,为成矿提供了主要的地质前提,即成矿元素来源及成矿热液来源,表明其为成矿的主导条件。

为确定研究区矿床的成矿时代,对区内 I 号矿带的辉绿玢岩脉及 II 号矿带的花岗细晶岩脉进行了锆石 U-Pb 定年,结果为辉绿玢岩 $124.92 \pm 1.3 \text{ Ma}$ (std.dev.=3.94, N=22, MSWD=4.7); 花岗细晶岩 $219.43 \pm 1.9 \text{ Ma}$ (std.dev.=107.478, N=7)。但花岗细晶岩样品均一性较差,点数较少,其结果只可参考。

样品 BXG-17: 取自宝兴沟 I 号矿体新鲜闪长玢岩,似斑状结构,斑晶为碱性长石粗晶。块状构造。基质中较少。对该样品 22 颗锆石进行了定年。大多数锆石 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄变化于 115~135Ma, 加权平均年龄为 $124.92 \pm 1.3 \text{ Ma}$ (MSWD=4.7), 样品中的 20 颗锆石的分析点均位于 U-Pb 谐和线上或其附近(图 5.4), 代表了辉绿玢岩的结晶时代。

样品 BXG-29: 取自宝兴沟 II 矿体花岗细晶岩, 对该样品共测定 7 粒锆石, 结果显示大部分点的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄与 $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 谐和度较差, 变化于 150-450Ma 之间。谐和曲线的投影年龄为 $219.43 \pm 1.9 \text{ Ma}$ (MSWD=15) (图 5.4)。从谐和图可推测, 其年花岗细晶岩成岩时代为 160Ma 左右, 而其它两处推测为捕虏体成岩时代。

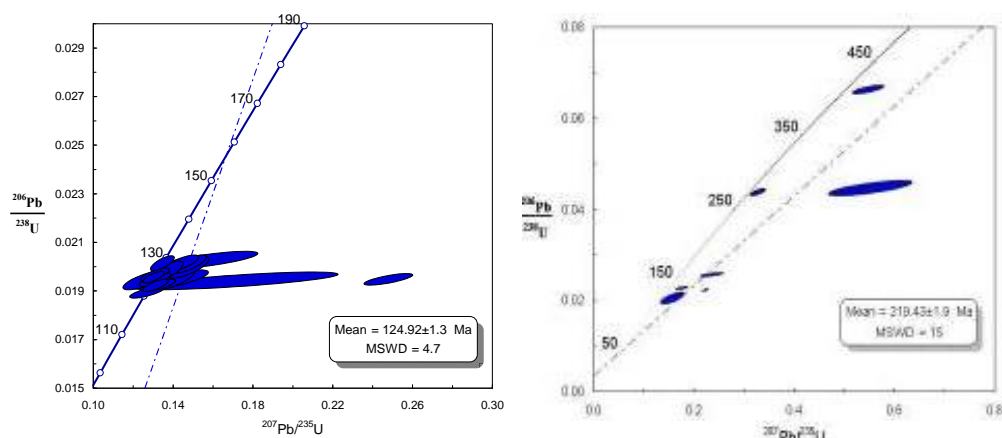


图 5.4 研究区辉绿玢岩、花岗细晶岩锆石 $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ - $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄谐和图

通过区域地质背景及成矿条件的讨论,考虑到岩体与金矿成矿密切的时空关系,辉绿玢岩岩体进行锆石 U-Pb 年龄测定结果显示,其侵位年龄为 $124.92 \pm 1.3 \text{ Ma}$, 认为成矿时代略晚于 $124.92 \pm 1.3 \text{ Ma}$, 属于早白垩世。

5.4.4 矿床成因探讨

通过上述分析,认为该矿床具备浅成低温热液矿床的特点,主要依据如下:

(1) 宝兴沟矿区大地构造位置位于天山-兴蒙造山系上黑龙江前陆盆地南缘,处在黑龙江拗陷腰站断陷南缘与十八站隆起北缘交接部位。

(2) 矿床成矿物质主要来源于侏罗系二十二站组砂岩,燕山晚期闪长玢岩、辉绿玢岩脉侵入时带入部分矿物,同时提供成矿热源和动力。

(3) 矿体呈脉状赋存于砂岩与燕山晚期侵入岩接触带,受北东向断裂构造及接触

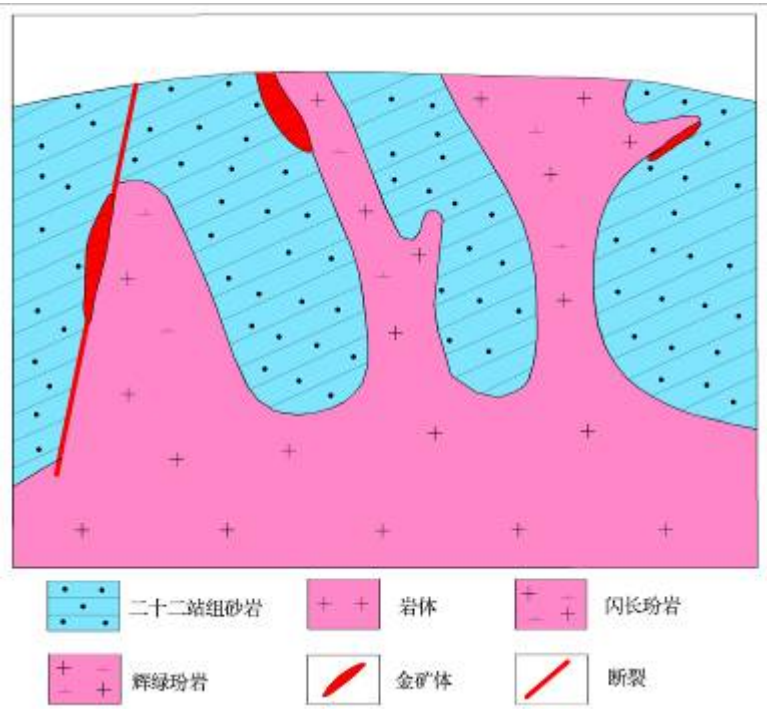
带产状控制。赋矿岩石为蚀变砂岩和蚀变闪长玢岩。

(4) 矿石中矿物主要有黄铁矿、黄铜矿、方铅矿等，围岩蚀变有硅化、黄铁矿化、绢云母化、碳酸盐化等。

(5) 成矿温度为266.9-319.6℃，峰值为280-290℃，成矿深度为0.88-1.2千米。

(6) 成矿作用主要发生于125Ma左右，属于燕山晚期早白垩世。

结合区域地质背景、矿床地质、地球化学特征及地质条件分析，据热液矿床相关理论，初步认为该矿床为浅成低温热液型矿床，并建立成矿模式简图（图5.5）如下：



第6章 找矿潜力分析

6.1 找矿信息

6.1.1 地球物理信息

武警黄金第三支队在区内开展了1:1万激电中梯测量20平方千米。通过工作激电中梯共圈定出13处视电阻率异常和17处视极化率异常(图6.1),除异常 $\rho s-3$ 号走向近东西及 $\rho s-2$ 、 $\rho s-11$ 、 $\rho s-12$ 、 $\rho s-13$ 号异常走向南北外其它走向大都为北东或近北东向。



图 6.1 宝兴沟矿区激电中梯测量综合异常图

- 1.现代堆积物; 2. 侏罗系额尔木河组 (J_{2e}); 3. 侏罗系二十二站组 (J_{2er}); 4.闪长玢岩/辉绿玢岩;
5.花岗细晶岩 6.矿化蚀变带/金矿体; 7.视极化率异常及编号; 8.电阻率异常及编号

$\rho s-1$ 、 $\rho s-5$ 、 $\rho s-6$ 、 $\rho s-8$ 、 $\rho s-9$ 、 $\rho s-10$ 、 $\rho s-11$ 和 $\rho s-13$ 号异常为低阻异常, 其它为高阻异常。其中 $\rho s-4$ 号高阻异常与 $\rho s-5$ 、 $\rho s-10$ 号低阻异常相邻, 该区发现了金 I 号矿体。 $\rho s-7$ 号高阻异常与 $\rho s-6$ 、 $\rho s-8$ 号低阻异常相邻, 推测有断裂经过。视电阻率 $\rho s-8$ 号异常与视极化率 $\eta s-5$ 、 $\eta s-15$ 号异常吻合, 该异常区经查证发现了金 II 号矿体。视电阻率 $\rho s-3$ 号异常与视极化率 $\eta s-8$ 号异常吻合; 视电阻率 $\rho s-4$ 号异常与视极化率 $\eta s-2$ 、 $\eta s-3$ 、 $\eta s-10$ 号异常吻合; 视电阻率 $\rho s-7$ 号异常与视极化率 $\eta s-4$ 、 $\eta s-13$ 、 $\eta s-14$ 号异常吻合; 视电

阻率 ρ_s -10 号异常与视极化率 η_s -11 号异常吻合；视电阻率 ρ_s -9 号异常与视极化率 η_s -6 号异常吻合；视电阻率 ρ_s -10 号异常与视极化率 η_s -11 号异常吻合；视电阻率 ρ_s -12 号异常与视极化率 η_s -17 号异常吻合。上述异常都有望发现新的矿体。

区内视电阻率分带明显，二十二站组砂岩呈高电阻率的特征，辉绿玢岩、花岗细晶

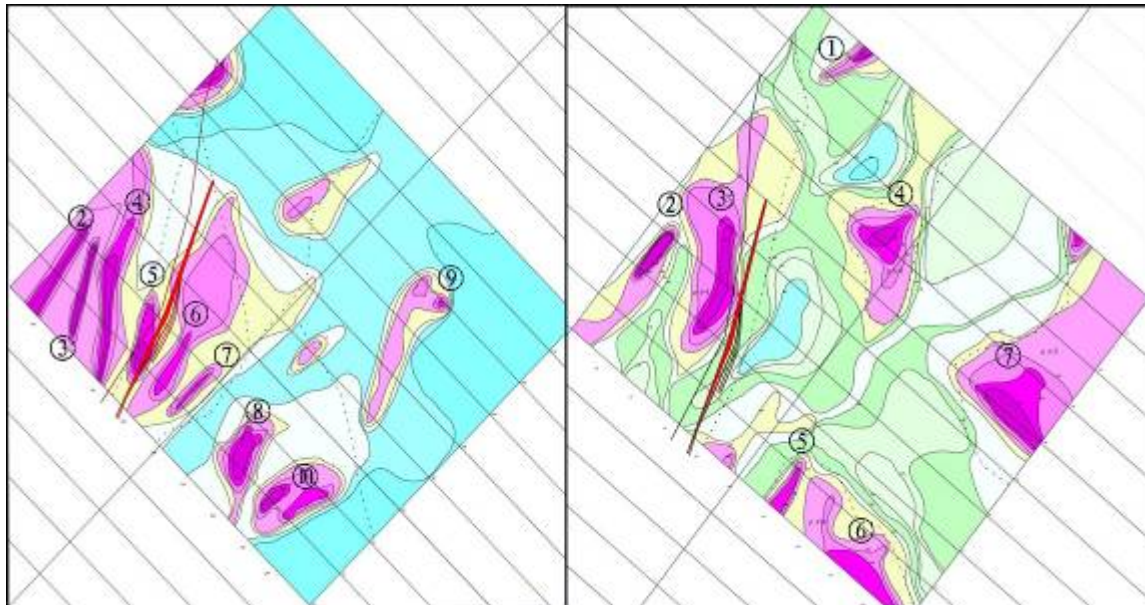


图 6.2 宝兴沟 Au-07-3 号异常视极化率、电阻率平面等值线图



图 6.3 宝兴沟 Au-07-4 号异常视视极化率、电阻率平面等值线图

岩呈低电阻率的特征，蚀变带为中低电阻率，矿体大部份产在高阻区和中阻区的接触部，反映矿体受岩性接触带控制的特征。Au-07-3 号土壤金异常区共圈出 6 处视极化率异常、5 处视电阻率异常，其中③号视极化率和②号视电阻率异常经验证已发现 I-1 和 I-2 号两条矿体（图 6.2）。Au-07-4 号土壤金异常区共圈出 7 处视电阻率异常和 6 处视极化率异常，由北西至南东依次为高阻区——中阻区——低阻区。高阻区有 2 处高阻异常；中

阻区有 2 处异常；低阻区有 3 处异常,异常呈北东向展布。Ⅱ号矿体主要产在 ηs-3 号视极化率异常和中阻区的高阻异常及其分界处（图 6.3）。由此可以看出视极化率与视电阻率异常叠加处是有利成矿位置，该区视电阻率异常梯变带且与高视极化率异常叠加处可作为该区地球物理找矿标志。

6.1.2 地球化学信息

工作区处于十九站-宝兴沟金Ⅱ级成矿远景区内，远景区面积170平方千米。研究区 Au、Ag、As、Sb、Cu、Pb、Zn发生明显的歧变，在二十二站组长石石英砂岩与闪长玢岩、辉绿玢岩、花岗细晶岩接触带上形成了Au-HT07-3、Au-HT07-4号异常区，经查证均发现矿体。因此可以认为普查内出现Au元素土壤异常，且异常规模大，强度高，浓集中心明显是重要找矿标志，尤其Au、Ag、As、Sb、Cu、Pb组合异常带，其中土壤测量异常Au含量 $\geq 100 \times 10^{-6}$ ，是直接找矿标志。

6.1.2.1 土壤异常

武警黄金第三支队通过2007-2009年土壤地球化学测量工作共圈定土壤金异常16处，银异常11处、砷异常8处、锑异常7处、铜异常7处、铅异常8处、锌异常7处（图6.4）。主要金异常见表6.1。

表 6.1 宝兴沟矿区主要金异常一览表

异常编号	异常点数	面积	平均值	极大值	标准高差	衬度	NAP 值	浓度分带	备注
Au-HT07-4	257	0.574	23.04	100	1.59	4.62	2.63	外、中、内	已查证
Au-HT07-3	494	1.192	18.86	100	1.02	3.77	4.49	外、中、内	已查证
Au-HT09-1	7	0.06	25.66	76.6	28.93	5.13	0.3	内、中、外	有望异常
Au-HT09-3	8	0.06	20.40	82.8	28.37	4.08	0.3	内、中、外	有望异常
Au-HT07-1	50	0.112	10.52	51.60	1.55	2.10	0.23	外、中、内	
Au-HT07-2	35	0.071	8.46	82.7	2.32	1.69	0.12	外、中、内	
Au-HT09-2	4	0.03	23.23	59.2	25.12	4.65	0.1	内、中、外	
Au-HT09-4	7	0.06	17.10	66.9	22.45	3.42	0.2	内、中、外	
Au-HT09-5	8	0.06	7.81	16.8	4.10	1.56	0.1	中、外	
Au-HT09-6	4	0.03	10.65	19.9	6.75	2.13	0.1	中、外	

6.1.2.2异常分类

根据异常评价分类程序，将工作区多元素异常分类（表 6.2）如下：
甲类异常：成矿地质条件优越，异常强度高，规模大，具明显的浓度分带，由已知矿(化)体或推测可能的矿(化)体引起的规模较大、具有一定找矿价值的矿化异常。如

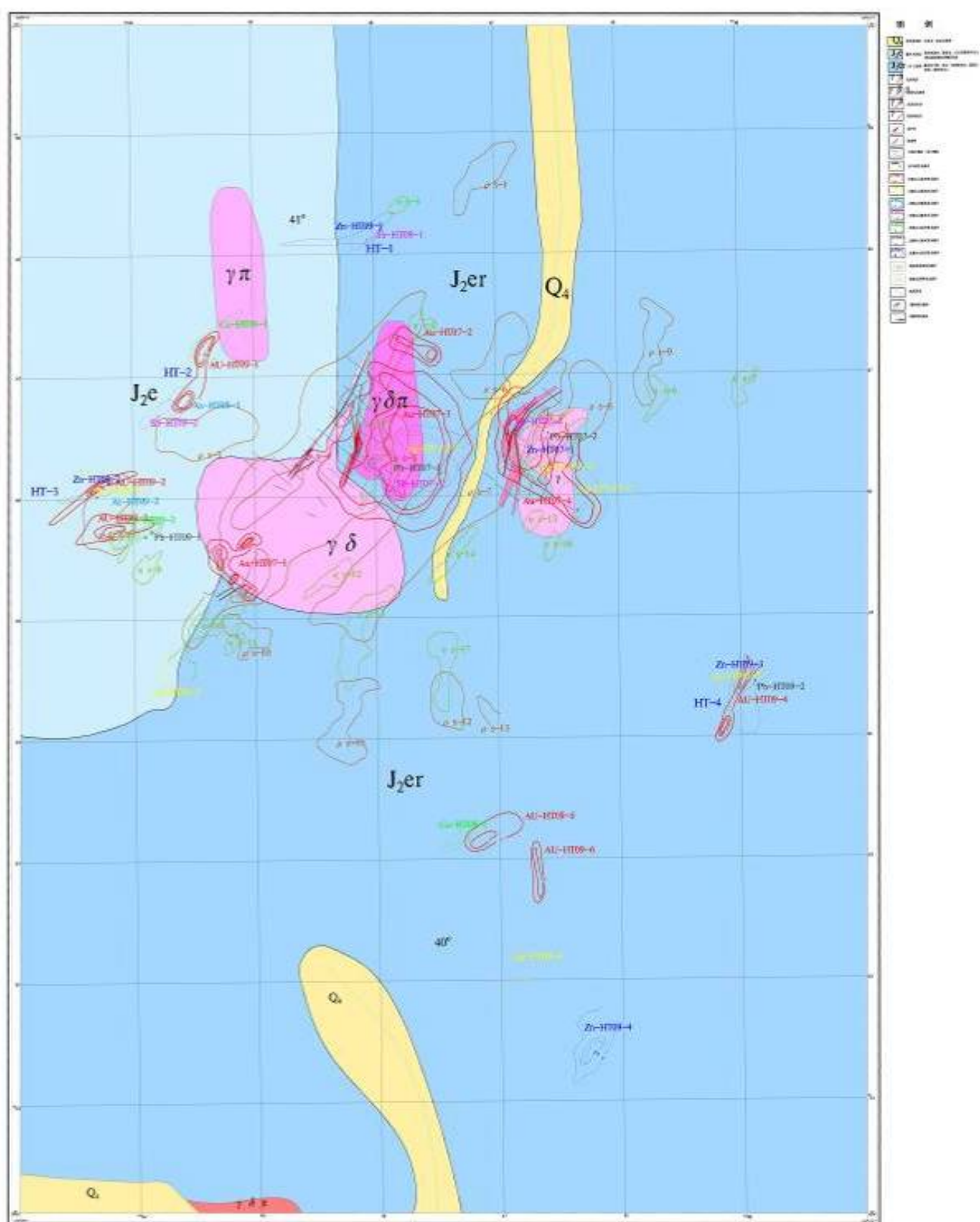


图 6.4 宝兴沟矿区土壤测量综合异常图

Au-HT07-3、Au-HT07-4号异常属于此类异常。

乙类异常：推断矿异常或推断反映含矿控矿或对找矿有其他指示作用的地质体、地质构造部位或构造形式的异常，以及推断对解决其他地质问题有指示作用的地质体、地质构造部位或构造形式的异常。如Au-HT07-1、Au-HT07-2、Ag-HT07-2、As-HT07-1、Sb-HT01-2、Cu-HT07-1、Cu-HT07-2号异常属于此类异常。

丙类异常：物化探工作不充分，尚解释不清的异常，如Ag-HT07-1、Ag-HT07-3、Zn-HT07-1、Pb-HT07-2、Pb-HT07-1号异常属此类异常。

表 6.2 金元素异常评价分类结果

异常编号	异常分类结果	备 注
Au-HT07-3、Au-HT07-4、Au-HT09-1、Au-HT09-3、Cu-HT09-3	甲	Au-HT07-3、Au-HT07-4 已查证
Au-HT07-1、Au-HT07-2、Au-HT09-2、Au-HT09-4、	乙	未查证
Au-HT09-5、Au-HT09-6、Ag-HT07-1、Ag-HT07-3、Zn-HT07-1、Pb-HT07-2、Pb-HT07-1、Au-HT09-5、Au-HT09-6、Ag-HT09-1、Ag-HT09-2、Ag-HT09-3、Ag-HT09-4、As-HT09-1、As-HT09-2、Sb-HT09-1、Sb-HT09-2、Cu-HT09-1、Pb-HT09-1、Pb-HT09-2、Zn-HT09-1、Zn-HT09-2、Zn-HT09-3	丙	未查证

6.1.3 异常查证情况

异常查证着重金有望异常，对土壤异常查证方法以槽探工程为主，配合1:1万电法测量等手段，以达到追索异常源的目的，查明其成因，对有望地段开展深部钻探工作。部分土壤异常验证情况如下：

Au-HT07-3号异常

异常分布侏罗系中统二十二站组地层与闪长玢岩的接触部位，二十二站组地层岩性为粗粒砂岩、中粒砂岩。异常受闪长玢岩控制，成矿地质条件良好。异常面积大，强度高，具有明显的浓集中心和浓度分带，Au与Ag、As、Sb、Cu、Pb异常共生组合关系较好，有Ag-HT07-1、As-HT07-2、Sb-HT01-1、Cu-HT07-1、Pb-HT07-1号异常，异常不规则状北东向展布。与物探异常群吻合较好。

该异常进行了1:1万电法剖面工作，共完成10千米，划分出7处视极化率异常及18处视电阻率异常区。 η_s-1 与 η_s-3 号视极化率异常与 ρ_s-2 、 ρ_s-3 、 ρ_s-10 号视电阻率异常相吻合，在高电阻与低电阻异常相结合部位推测为岩性接触带或破碎带，也就是推断有利成矿部位P1与P4，而P4部位通过槽探工程揭露，发现一处金矿（化）体，平均品位为 2.55×10^{-6} 。与P4有相似成矿地质、地球物理条件的部位有P1和P5（图6.5）。

该异常利用槽探工程及钻探工程进行了控制，后经过进一步工作达到现有工作程度。

Au-HT07-4号异常

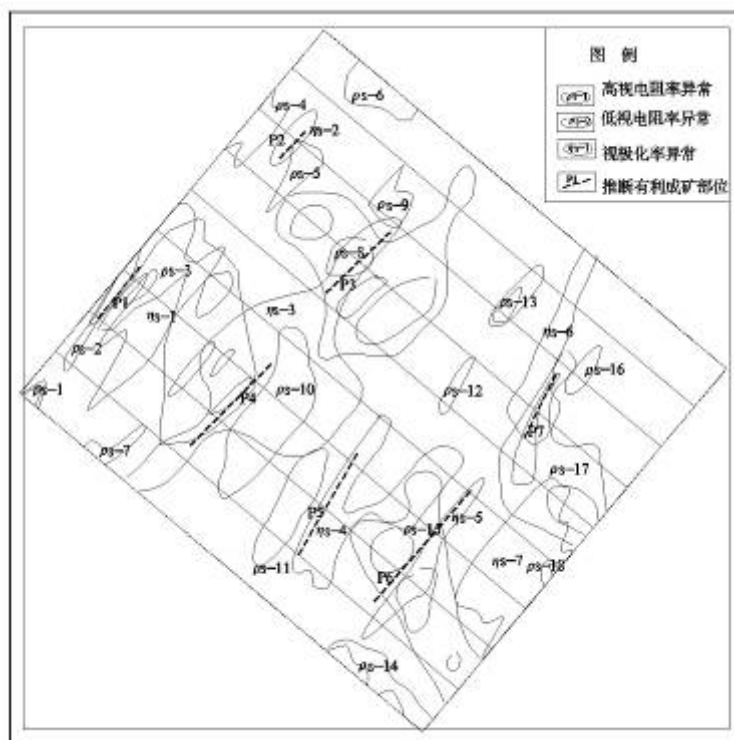


图 6.5 宝兴沟电法异常推断解释图

异常分布于侏罗系中统二十二站组地层内，岩性为含砾砂岩、粗粒砂岩、中粒砂岩、细砂岩，异常的东部为花岗细晶岩脉。异常受花岗细晶岩脉与砂岩的接触带控制，成矿地质条件良好。异常面积 0.574 平方千米，Au 极大值大于 100.0×10^{-9} ，平均值 23.04×10^{-9} ，该异常面积大，强度高，具有明显的浓集中心和浓度分带，呈不规则状北东向展布。Au 与 Ag、As、Sb、Cu、Pb 异常共生组合关系较好，有 Ag-HT07-3、As-HT07-3、Sb-HT01-2、Cu-HT07-2、Pb-HT07-2 号异常。该异常利用槽探工程进行了查证，于异常中心的 148 线、140 线、132 线、124 线、116 线高值点布设了工程，发现 1 条破碎蚀变带，平均宽 80 米，最宽 120 米，控制长度 750 米，走向北东。蚀变带为产于二十二站组中粗粒砂岩的一条破碎带，原岩为蚀变砂岩。在蚀变带内发现 3 条金矿体。后经过进一步工作达到现有规模。

Au—HT07—1 号异常

异常分布于侏罗系中统二十二站组地层内，岩性为含砾砂岩、粗粒砂岩、中粒砂岩、细砂岩。成矿地质条件较好。异常面积 0.112 平方千米，Au 极大值 51.6×10^{-9} ，平均值 10.52×10^{-9} ，具有明显的浓集中心和浓度分带。仅为单元素异常，异常呈不规则状北西向展布。金元素异常规模较小，强度高，成矿地质条件有利。Au-HT07-1 号异常通过 2009 年工作发现 IV 号金矿化蚀变带，为一条破碎蚀变岩，其内现圈定 2 条金矿体。

6.1.4 找矿标志

结合矿床成因探讨及上述分析，可总结出以下找矿标志：

地层找矿标志：侏罗系中统二十二站组中粗砂岩对成矿有利。

断裂构造找矿标志：北东向构造为主要的控矿构造，破碎蚀变带是重要的找矿标志之一。

侵入岩找矿标志：燕山晚期闪长玢岩脉、辉绿玢岩脉、细晶岩脉是直接找矿标志。

地球化学找矿标志：普查内出现 Au 元素的水系异常和土壤异常，且异常规模大，强度高，浓集中心明显。Au、Ag、As、Sb、Cu、Pb 组合异常带是重要找矿标志，其中土壤测量异常 Au 含量 $\geq 100 \times 10^{-9}$ ，是直接找矿标志。

地球物理找矿标志：视电阻率异常梯变带且与高视极化率异常叠加处是间接找矿标志。

蚀变找矿标志：异常地段内出现硅化、绢云母化、绿泥石化、碳酸盐化是找矿标志。

矿物找矿标志：黄铁矿化、褐铁矿化是直接找矿标志。

6.2 组合异常的圈定

组合异常的圈定是对两个或两个以上的单元异常套合在一起，而且套合面积大于单元异常面积三分之一以上者划分为一个组合异常，其异常编号为“HT-自然数”并按各个标准图幅从上而下、自左而右的原则依次编号，全测区共圈定组合异常 4 处。2007 年圈定的异常已查证，在此不再进行分类。

根据元素异常个数及异常规模对测区内 4 处组合异常进行综合评序结果见(表 6.5)。

组合异常的分类原则：按照《地球物理地球化学勘查标准汇编（化探、遥感部分）》(DZ/T0167-95)中的化探异常分类原则将测区异常分为三大类：

(1) 甲类异常：为已知矿异常及工作和检查中的见矿异常。可分为一个亚类；

甲 2 类异常：为已知的中型矿异常或推测可找到中型规模矿床的异常。

(2) 乙类异常：推断的矿异常或解决其它地质问题有意义的异常。又可分为二个亚类：

乙 2 类异常：反映了可能含矿、控矿或对找矿有其它指示作用的地质体、地质构造，经进一步开展化探、物探工作推断可能找到矿的异常。

乙 3 类异常：推断的矿异常。

(3) 丙类异常：性质不明的异常。当进行了较充分的化探、物探工作之后。由于各种原因仍无法判明异常性质，或化探、物探工作进行的尚不充分而难以解释推断者。

依据上述原则，研究区异常划分为乙类异常 2 个，即 HT-2 为乙 2，HT-3 为乙 3；丙类异常 2 个，为 HT-1、HT-4。

表 6.5 组合异常综合评序结果表

异常 编号	元素组合	元素 组合		贵重金属 (Au、Ag)				有色金属(Cu、 Pb、Zn、)				半金属(As、Sb)			
	元素、异常号(规模)	个 数	序 数	规模	序 数	总 序 数	评 序 号	规模	序 数	总 序 数	评 序 号	规模	序 数	总 序 数	评 序 号
				极值				极值				极值			
HT-1	Zn-HT09-1(0.04)、Sb-HT09-1 (0.008)	2	3					0.04	2	5	2	0.008	3	6	3
HT-2	Au-HT09-1(0.06)、Cu-HT09-1(0.032)、As-HT09-1(0.04)、Sb-HT09-2 (0.008)	4	2	0.06	2	4	2	0.032	3	5	2	0.04	2	4	2
HT-3	Au-HT09-2(0.03)、Au-HT09-3(0.06)、Ag-HT09-1 (0.136) 、 As-HT09-2(0.12)、Cu-HT09-2(0.016)、Pb-HT09-1(0.016)、Zn-HT09-2 (0.008)	6	1	0.136	1	2	1	0.016	4	5	2	0.12	1	2	1
HT-4	Au-HT09-4(0.06)、Ag-HT09-3 (0.03) 、Pb-HT09-2(0.12)、Zn-HT09-3 (0.064)	4	2	0.06	2	4	2	0.12	1	3	1				

6.3 潜力评价

6.3.1 主要矿体找矿潜力分析

宝兴沟金矿区已发现矿化 4 条金矿化蚀变带,圈定 13 条金矿体,所有矿体两侧或深部均没有完全控制,有很大的找矿潜力,有望获得更大的突破。

I 号金矿化蚀变带控制长度 1147 米,宽 1.7—61 米,其内圈定 6 条金矿体,南端未封闭,深部未圈闭。

II 号金矿化蚀变带控制长度 750 米,宽 40—120 米,其内圈定 2 条金矿体,两端未封闭,深部未圈闭。

III 号金矿化蚀变带内圈定 3 条金矿体,均为单工程控制,两端未封闭。

IV 号金矿化蚀变带内圈定 2 条金矿体,均为单工程控制,两端未封闭。

6.3.2 物化探异常找矿潜力分析

区内圈定 1:1 万土壤测量多元素异常 61 处,金异常 16 处,其中未验证的较好的组合异常 2 处;激电中梯共圈定出 13 处视电阻率异常和 17 处视极化率异常,其中未验证视电阻率异常与视极化率吻合较好的异常 8 处。结合物化探异常本区可划出两个成矿预测区(图 6.6),分别为东部预测区和西部预测区。



图 6.6 宝兴沟矿区成矿预测图

- 1.第四系现代沉积物; 2.侏罗系额木尔河组 (J_{2er}); 3.侏罗系二十二站组 (J_{2er});
4.闪长玢岩/辉绿玢岩; 5. 花岗细晶岩; 6. 矿化蚀变带/金矿体; 7.预测区

6.3.2.1 东部预测区

A、化探异常特征

该预测区由 HT-4 号异常和 Au-09-5、6 元素异常组成。该区位于 II 号矿化蚀变带的东南部。

异常均分布于侏罗系中统二十二站组地层内，岩性为含砾砂岩、粗粒砂岩、中粒砂岩、细砂岩。Au—HT09—5、6 异常均为单元素异常。

该预测区异常规模较大，强度高，成矿条件较好，推断其由岩石的矿化蚀变引起，建议在该区开展物探工作及槽探工程进行验证，以寻查明引起异常的原因，以期发现隐伏岩体或矿体。

B、潜力预测

根据丰度与资源量之间存在关系的认识，在进行地区性资源估算时，可由已知地区求出成矿元素的富集系数，将它外推到地质环境相类似的未知地区，求出预测资源量，即丰度模型法。

富集系数的计算公式为：

$$r_R = \frac{T_R}{(C_R \cdot D \cdot C_A \cdot S_G \cdot 10^3 + T_R)}$$

r_R ：成矿元素或成矿元素组合（R）的富集系数；

T_R ：成矿元素或成矿元素组合（R）的金属储量（以千克为单位）；

C_R ：模型区的面积(km²)；

D ：已知区地壳深度(km)，一般按当前的开采勘探技术条件确定；

C_A ：成矿元素的地壳丰度（ppb）；

S_G ：成矿元素组成矿石的体重。

通过 Au-3、Au-4 异常可求得富集系数。目前 3、4 号异常探得资源量总量为 7297 千克，其探得的资源总量必然大于此数，因此 T_R 取 8000；体重 S_G 为 2.70； C_A 为金异常平均值，目前矿体控制为 200-300 米，因此 D 深度取值 300。计算得富集系数为 0.000277。

当富集系数为已知的时候，可以根据未知区取得的 R_A 、 A 、 D 、 S_G 等参数进

行矿产资源估算，即

$$E_{TR} = \frac{r_R \times R_A \times A \times S_G \times D \times 10^3}{1 - r_R}$$

式中 E_{TR} ：未知区（预测区）内的资源总量；

R_A ：未知区面积(km²)；

A ：金异常平均值（ppb）；

D ：预测深度，取值 1000 米；

S_G : 未知区矿石体重。

由此计算本预测区中 Au-HT09-4、5、6 号潜在资源量为 767 千克, 350 千克, 239 千克。即东部预测区存在潜在资源量在 1400 千克左右。

6.3.2.2 西部预测区

A、异常特征

该预测区由 HT-2 号、HT-3 号组合异常组成, 位于 I 号矿体北西部。

异常分布于侏罗系中统额木尔河组地层内, 异常元素套合关系较好, 形态不规则, 总体上呈北东向展布。具有明显的浓集中心和浓度分带, 异常呈似椭圆状北东向展布。金异常为 Au-HT09-1、Au-HT09-2、Au-HT09-3。

同时区内具视电阻率 ρ_s -2、 ρ_s -3 异常和视极化率 η_s -8、 η_s -9 异常, 其中 ρ_s -2 异常和 η_s -8 吻合较好, 且与 HT-3 号异常套合。

该预测区内组合异常中金元素异常规模较大, 强度高, 成矿地质条件有利, 推断异常是由一定规模的矿化体引起的。其矿化程度、出露范围、产状等未能全部控制, 因此需进一步工作, 有望发现金矿(化)体。

B、潜力预测

通过丰度模型法求得 Au-HT09-1、Au-HT09-2、Au-HT09-3 异常潜在资源量分别为 1151 千克、449 千克、915 千克, 即西部预测区存在潜在资源量为 2600 千克左右。

另外, Au-HT07-1号异常为单元素异常, 但经验证发现IV号金矿化蚀变带2条矿体, 因此区内土壤金及多金属单元素异常也应引起重视, 尤其与视电阻率异常与视极化率吻合较好部位, 对其应适当开展工作进行验证, 有望取得新的发现。

6.3.3 矿区外围找矿潜力分析

工作区处于十九站-宝兴沟金Ⅱ级成矿远景区内, 远景区面积 170 平方千米。在宝兴沟-依西肯区内圈定水系沉积物金异常 9 处, 有望异常 4 处。该区通过 1:5 万遥感地质解译工作, 共圈定 9 处遥感解译成矿预测区, 而研究区处于 2 号成矿预测区内, 为北东、北西及东西向线性构造的交汇部位, 遥感解译环状构造沿北东向线性构造呈串珠状展布, 反映受断裂构造控制, 区内有多条遥感解译蚀变带(区), 其中北北东向蚀变带与新发现的矿体吻合较好。其中Ⅲ号金矿化蚀变带是在水系 Au-VI号异常外围发现的, 进一步说明该区外围具有较大的找矿潜力。应进一步在该区外围开展面积性等预查或普查工作, 有望发现新的矿床。

第 7 章 结论与建议

本文在区域地质背景和一定研究分析的基础上，对宝兴沟矿区的成矿条件、矿床成因、找矿潜力进行了分析评价，取得的主要成果认识及建议如下：

1、宝兴沟金矿床位于上黑龙江拗陷腰站断陷南缘与十八站隆起北缘交接部位。矿体呈脉状产出于闪长玢岩、辉绿玢岩与二十二站组砂岩接触带中，赋矿岩石为蚀变砂岩和蚀变闪长玢岩。目前共发现 4 个矿化蚀变带，13 条破碎蚀变岩型金矿体。矿石中金属矿物主要为黄铁矿，其次是黄铜矿、斑铜矿、闪锌矿和方铅矿。成矿有关的围岩蚀变以中-低温蚀变为特征，主要有硅化、碳酸盐化、绢云母化、绿泥石化等。

2、金矿体受北东向线性构造及侵入接触带控制，成矿与闪长玢岩、辉绿玢岩等浅成侵入体关系密切。区内北西部发现多个环状构造，多数可能与成矿有关浅成—超浅成侵入体有关，除少数岩体已出露外，其可能存在隐伏玢岩岩体。

3、区内存在较强的后期叠加富集特征，是找寻 Au、Ag、Pb、Sb 矿化或矿床希望较大。区内存在较强的后期叠加富集特征，Au 等元素异常受 NE 向构造控制，呈 NE 向分布；Ag、Pb、Sb 等异常可作为找寻 Au 矿化或矿床的找矿标志。

4、矿区岩、矿石的稀土元素配分模型为轻稀土富集的右倾配分模型，Eu 异常呈负异常到微弱正异常的特征；与成矿有关的闪长玢岩、辉绿玢岩具有高钾钙碱性玄武岩特征。

5、对成矿岩体进行锆石 U-Pb 年龄测定结果显示，侵位年龄为 $124.92 \pm 1.3\text{Ma}$ 。认为成矿时代略晚于 $124.92 \pm 1.3\text{Ma}$ ，金矿成矿发生于早白垩世。

6、矿床成矿物质主要来源于侏罗系二十二站组砂岩和早白垩世闪长玢岩、辉绿玢岩，成矿热源来自岩浆活动，成矿流体均一温度 $266.9\text{--}319.6^\circ\text{C}$ ，峰值 $280\text{--}290^\circ\text{C}$ ，成矿深度小于 1.5 千米，由此确定该矿床为浅成低温热液型矿床。

7、综合研究确定主要成矿地质条件及综合找矿标志，并根据已有地质、地球物理、地球化学成果资料，筛选找矿靶区 2 处，预测潜在资源量为 4000 千克左右，为后续勘查工作奠定基础。

8、宝兴沟金矿床进一步的找矿方向建议为：(1)加大对主矿体的边部和深部找矿力度，进一步控制矿体的规模及产状，采集钻探原生晕剖面样品，预测矿床深部找矿潜力。(2)对矿区外围的物、化探异常区以上述找矿标志为指导，加强普查、

预查工作力度，争取有所突破；加强矿体北西侧的环形构造的研究，验证其是否存在隐伏侵入体及盲矿体的存在。(3)加强西矿带闪长岩，闪长玢岩（辉绿玢岩，闪长玢岩）、东矿带内细晶花岗岩（斜长花岗斑岩）的形态，产状研究，接触带产状与探矿关系研究；接触带产状及与成矿关系研究；赋矿地层的选择性，验证额木尔河组赋含矿性；加强矿床成因研究，适当增加流体包裹体、同位素等分析测试。(4)NE 向断裂构造发育程度及与成矿关系，NW 向，EW 向构造及控矿特征研究；东西矿带对比研究；查证新的异常中的矿化特征，并与已知矿体进行对比研究。

参考文献

[1]黑龙江省地质矿产局. 黑龙江省区域地质志[M].北京: 地质出版社, 1993.

[2]武警黄金第三支队. 黑龙江省塔河县宝兴沟矿区阶段性报告[R].哈尔滨: 武警黄金第三支队, 2008.

[3]武警黄金第三支队. 黑龙江省塔河县宝兴沟岩金普查地质设计[R].哈尔滨: 武警黄金第三支队, 2010.

[4]汤鹏飞, 公维国, 杨吉波. 黑龙江省塔河县宝兴沟金矿地质特征及找矿方向探讨[J]. 黄金科学技术.2008,16(3):34-36

[5]黑龙江省地质矿产局.区域地质调查报告(依西肯幅、十八站幅、兴华幅、鸥浦幅)[R]. 黑龙江省地质矿产局 ,1989.

[6]黑龙江省地质矿产局.区域地质调查报告(开库康幅)[R].黑龙江省地质矿产局 ,1985.

[7]武警黄金第三支队. 黑龙江省塔河一呼玛县宝兴沟—依西肯 1: 50 000 水系沉积物测量报告[R]. 哈尔滨: 武警黄金第三支队, 2002.

[8]武警黄金第三支队. 黑龙江省塔河县腰站林场一宝兴沟 1: 50 000 遥感解译报告[R]. 哈尔滨: 武警黄金第三支队, 2008.

[9]杨言辰,王可勇,冯本智.大横路式钴(铜)矿床地质特征及成因探讨[J]. 地质与勘探.2004.01.

[10]姚凤良,孙丰月,矿床学教程[M].地质出版社, 2006.

[11]徐文喜, 王建发等.黑龙江浅成低温热液金矿床基本特征及找矿前景分析[J].金属矿山, 2006.08.

[12] 韩振新, 赫正平, 等. 黑龙江省主要成矿带矿床成矿系列[M].哈尔滨工程大学出版社, 1996.

[13]杨言辰,张兰玲,叶松青,王可勇.黑龙江省逊克县新民金矿床流体包裹体研究[J]. 黄金,2009,03.

[14]王晓勇. 大兴安岭北部金矿床类型及地质特征[J]. 黄金地质,2004.6

[15]杨言辰,孙德有,马志红,许文良. 红旗岭镁铁超镁铁岩侵入体及铜镍硫化物矿床的成岩成矿机制[J].吉林大学学报(地球科学版),2005.09.

[16]张海心,杨言辰.高密度电阻率法在东安金矿床勘探中的应用[J].,吉林地质 2005.09.

[17]杨毅恒 韩燕.多维地学数据处理技术及方法[M]. 2002.3.

[18]范永香. 成矿规律与成矿预测[M]. 2003.12

[19]韦延光,王可勇,杨言辰等. 吉林白山市大横路 CuCo 矿床变质成矿流体特征[J]. 吉林大学学报(地球科学版).2002.04.

参考文献

[20]薛明轩,叶松青,刘智明等.黑龙江东安金矿床地质地球化学特征初探[J]. 黄金,2002,07.

[21]李万亨.矿产经济与管理[M].2000.11

[22]刘忠田,黑龙江省漠河县砂宝斯岩金矿普查报告[R].武警黄金第三支队,2006。

[23]武警黄金第三支队.黑龙江省上黑龙江凹陷中西段岩金成矿预测研究报告[R].武警黄金第三支队,1996.

[24]黑龙江省漠河县砂宝斯金矿控矿条件及赋存规律研究[R].武警黄金地质研究所,1996.

[25]卫万顺、张宇辉,金矿床模型[M].中国大地出版社,2005.

[26]王晓勇,王献忠,金同和,梁海军,怀宝峰.吉南复兴村金矿床地质特征及控矿因素[J]. 桂林工学院学报.2008.11

[27]杨言辰,马志红,杨宝俊.中国北方古元古代成矿带矿床成矿系列研究[M].吉林人民出版社.2002

[28]武广.大兴安岭北部区成矿背景与有色、贵金属矿床成矿作用[J].吉林大学,2006。

[29]齐金忠等大兴安岭北部砂宝斯蚀变砂岩型金矿床地质特征[J].矿床地质,2000。

[30]梁海军等黑龙江省砂宝斯金矿床成矿模式探讨[J].2007。

[31]Hugh R.Rolliso 岩石地球化学[M].中国科学技术大学出版社

[32]陈毓川.矿床成矿系列[J].地学前缘.1994, (3): 90-94

[33]程裕淇,陈毓川,赵一鸣,等.初论矿床成矿系列问题[J].中国地质科学院院报,1979, 1(1): 32-58

[34]程裕淇,陈毓川,赵一鸣,等.再论矿床的成矿系列问题[J].中国地质科学院院报, 1983, (6): 1-64

[35]贾伟光,王晓勇,张春辉等.黑龙江砂宝斯金矿成矿流体性质研究. [J].地质与资源, 2004, 13 (3): 148-151

[36]王献忠,舒本耀,梁海军,陈满等.大兴安岭北部砂宝斯金矿床控矿因素及成因[J].黄金地质,2003,09.

[37]刘建明,张锐,张庆洲.大兴安岭地区的区域成矿特点[J].地学前缘,2004,11 (1): 269-277

[38]武广,孙丰月,朱群等上黑龙江盆地金矿床地质特征及成因探讨[J].矿床地质,2006,

[39]杨言辰 王建 马志红.山西五台七图式沉积变质-热液叠加改造型砾岩金矿床[J].黄金,2001.07.

[40]王可勇,姚书振,张均,吕新彪.川西北马脑壳金矿床流体包裹体研究与热液成矿机理探讨[J].岩石学报,2000 .

[41]吴国学.团结沟金矿床综合找矿标志研究[J].长春地质学报

[42]卢焕章,范宏瑞,倪培等流体包裹体[M].科学出版社,2004.

[43]刘斌,沈昆.流体包裹体热力学[M].北京:地质出版社,1999,1~290.

参考文献

[44]秦鼎等.中国金矿主要类型区域成矿条件[M]. 北京: 地质出版社, 1988, 1 ~ 127.

[45]韦永福,吕英杰等. 中国金矿床[M]. 北京: 地质出版社, 1994, 1 ~ 329.

[46]陈毓川, 李兆鼎, 母瑞身等. 中国金矿床及其成矿规律[M]. 北京: 地质出版社, 2001, 1 ~ 465.

[47]罗镇宽, 关康 等编著. 中国金矿床概论[M].天津科学技术出版社, 1993, 1 ~ 308.

[48]孙培基,韦永福等.当代中国金矿地质[M]. 北京: 地质出版社, 1996, 1 ~ 363.

[49]张贻侠,寸珪,刘连登 等著.中国金矿床进展与思考[M]. 北京: 地质出版社, 1996, 1 ~ 205.

[50]邱家骧.岩浆岩岩石学[M]. 北京: 地质出版社, 1985, 1 ~ 340.

[51]银建钊.我国金矿床成矿理论研究现状[J]. 地质科技情报, 1994, 13(2): 58 ~ 62.

[52]袁见齐,朱上庆, 翟裕生. 矿床学[M]. 北京: 地质出版社, 1985, 1 ~ 345.

[53]成建勋,叶松青,丁枫,唐菊兴.藏东马牧普地区斑岩型铜金银多金属矿化带地球化学异常评价[J]. 世界地质,2005,12.

[54]刘凤山,石准立.国外岩浆热液成矿理论研究现状与进展[J]. 地质科技情报, 1994, 13(2): 75 ~ 80.

[55]彭齐鸣, 许虹. 成矿理论研究现状及进展[J]. 世界地质, 1993, (3): 7 ~ 11.

[56]王可勇,任云生,程新民,代军治. 黑龙江团结沟金矿床流体包裹体研究及矿床成因[J].大地构造与成矿学.2004.05

[57]唐文龙, 杨言辰, 李骞, 毛向军.伊春前进地区岩浆岩的地球化学特征及其对成矿的制约[J].吉林大学学报.2007, 37 (1): 41—47

[58]葛文春, 隋振民, 吴福元等.大兴安岭东北部早古生代花岗岩锆石 U—Pb 年龄、Hf 同位素特征及地质意义[J].岩石学报.2007, 23 (2): 423—440

[59]杨言辰.鹿鸣—前进地区多金属矿床成矿规律与成矿预测[R].项目报告.2006

[60]王可勇,王力,刘正宏,汪建宇,张吉衡.辽宁高家堡子大型银矿流体包裹体及矿床成因[J].岩石学报.2008.

[61]孙德有, 吴福元, 高山.吉林中部晚三叠世和早侏罗世两期铝质 A 型花岗岩的厘定及对吉黑东部构造格局的制约[J].地学前缘.2005, 12 (2): 263—275

[62]杨言辰.黑龙江小兴安岭—张广才岭成矿带金、多金属矿床成矿规律与成矿预测[R].项目报告.2005

[63]刘培栋,杨言辰.辽宁尖山沟金矿床地质特征及成因探讨[J].黄金. 2007.08

[64]韩振新, 徐衍强, 郑庆道.黑龙江省重要金属和非金属矿产的成矿系列及其演化[M].黑龙江人民出版社.2004

[65]李惠,张国义,禹斌.构造叠加晕模型及找矿效果[M].地质出版社,2006.1

[66]孙德有.张广才岭中生代花岗岩成因及其地球动力学意义[D].吉林大学博士学位论

文.2001

[67]王京彬, 王玉往, 王莉娟.大兴安岭中南段铜矿成矿背景及找矿潜力[J].地质与勘探. 2000, 36 (5): 1—4

[68]李朝阳等著.中国铜矿主要类型特征及其成矿远景[M].地质出版社.2000

[69]吴福元, 曹林.东北亚地区的若干重要基础地质问题[J].世界地质.1999, 18 (2): 1—13

[70]侯敏, 杜恒芳.小兴安岭南段—张广才岭成矿带主要金属矿床成矿系列的划分及区域成矿规律[J].黑龙江地质.1998, 9 (3): 10—16

[71]邱家骧, 林景仟.岩石化学[M].北京: 地质出版社.1991

[72]王中刚, 于学元, 赵振华等.稀土元素地球化学[M]. 北京: 科学出版社.1989, 223—224

[73]路远发.Geokit 软件.长江大学地球化学系.2008

[74]Singer. Donald A. Porphyry copper deposit density. Economic Geology .2005.100(3).p1637-1641.

[75] Zheng. you-ye. Ore-forming fluid controlling mineralization in Qulong super-large porphyry copper deposit, Tibet .Diqui Kexue —Zhongguo Dizhida Daxue Xuebao /Earth Science-jlurnal of China University of Geosciences .2006.31(3).p349-354.

[76] Han. Chunming. Geological characteristics and genesis of the Tuwu porphyry copper deposit, Hami, Xinjiang , central Asia. Ore Geology Reviews.v .2006,.29(1) .p 77-94.

[77] Li. Peilan. Yu. Xingzhen. Experimental Study Of The Principle Of Geochemical Potential Conservation Based On The Mineralization Of Duobaoshan Porphyry Copper Deposit. Zhongnan Kuangye Xueyuan Xuebao/Journal of Central-South Institute of Mining and Metallurgy.1987.18(4).p 380-384

[78]Zheng. you-ye. Ore-forming fluid controlling mineralization in Qulong super-large porphyry copper deposit, Tibet [J].Diqui Kexue —Zhongguo Dizhida Daxue Xuebao /Earth Science-jlurnal of China University of Geosciences .2006,31(3):349-354.

[79] Han. Chunming. Geological characteristics and genesis of the Tuwu porphyry copper deposit, Hami, Xinjiang , central Asia[J]. Ore Geology Reviews.v .2006,29(1) :77-94.

[80]Dengjun,Liuwei, Sunzhongshi,et al. Evidence of mantle-rooted fluid and multi-level circulation ore-formingdynamics:A case study from the Xiadian gold deposit,Shandong province,China. [J].Science in China(series D): 2003,46:123-134.

[81]Dengjun,Sunzhongshi,Wangqingfei,et al. Crust mantle structure and gold enrichment mechanismof mantle fluid system[J].Chinese journal of geochemistry, 2003,22(3):263-270.

[82]Dengjun,Wangqingfei,Sunzhongshi. Origin of gold bearing fluid and its initiative localization mechanism in Xiadian gold deposit,Shandong province[J].Chinese Journal of geochemistry. 2002,21(3):282-288.

- [83]ARRIBAS A J, HEDENQUIST J W, ITAYA T, et al. Con-temporaneous formation of adjacent porphyry and epithermal Cu-Au deposits over 300 ka in northern Luzon, Philippines[J].Geology, 1995, 23: 337-340.
- [84]DURR S B. Provenance of Xigaze fore-arc basin clastic rocks (Cretaceous, south Tibet) [J].Geol Soc Am Bull, 1996, 108:669-684.
- [85]ARRIBAS A Jr. Characteristics of high-sulfidation epithermal deposits and their relation to magmatic fluid[J].Mineralogical Association of Canada Short Course Series, 1995, 23: 419-454.
- [86]Bischoff J L. Densities of liquids and vapors in boiling NaCl-H₂O solutions: A PVTX summary from 300 to 500°C[J]. America Journal of Science, 1991. 291: 309~338.
- [87]ALL GRE C J, GIRARDEAU J, MARCOUX J,et al. Struc-ture and evolution of the Himalayan-Tibet orogenic belt[J].Na-ture, 1984, 307: 17-22.
- [88]Bell D R. Water in mantle minerals [J]. Nature,1992,357: 646—647.
- [89]Boyle R W. The geochemistry of gold and its deposit (together with a chapter on geochemical prospectingforthe element) [M]. Geological Sur-vey, Bulletin 280, 1979.
- [90]DEFANT M J, DRUMMOND M S. Derivation of some modern arc magmas by melting of young subducted lithosphere[J].Na-ture,1990, 347: 662-665.
- [91]BLLSNLUK P M, HACKER B, GLODNY J, et al. Normal faulting in central Tibet since at least 13.5 Myr ago[J].Na-ture, 2001,412:628-632.
- [92]Bloom M S. Chemistry of inclusion fluids: stockwork molybde-num deposits form Questa, New Mexico, Hudson Bay Mountain,and Endako, Bristish Columbia[J]. Econ. Geo,1981,6: 1906 ~1920.
- [93]Ai Y F and Feng R Z. Mo-bearing granitic material sources and genetic type of Yangjiazhangzi- Lanjiagou area[J]. Henan Geol.,1985, (Supp.) : 198~204 (in Chinese)
- [94]BABCOCK R C J, BALLANTYNE G H, PHILLIPS C H.Summary of the geology of the Bingham District, Utah[J].Arizona Geological Society Digest, 1995, 20: 316-335.
- [95]CAMUS F, SILLTIOE R H, PETERSEN R. Andean copper deposits: New discoveries, mineralization style and metallogeny[J].Society of Economic Geologist, Special Publication5,1996, 5:198.
- [96]Bondar B J. Revised equation and table for determining the freez-ing point depression of H₂O_NaCl solutions. Geochemi Cosmochem Acta, 1993. 57: 683~684.
- [97]Cerny P,Blevin P L,Cuney M,et al.Granite-related ore deposits[C]//Hedenquist J W,et al.Economic Geology 100th Anniversary Volume.Littleton:Society of Economic Geologists,Inc,2005:337-370.
- [98]Candela P A,Piccoli P M.Magmatic processes in the development of porphyry-type ore

systems[C] //Hedenquist J W, et al.Economic Geology 100th Anniversary Volume.Littleton:Society of Economic Geologists, Inc., 2005:25-37.

[99]Defant M J, Drummond M S. Derivation of some modern arc magmas by melting of young subduction lithosphere[J]. Na-ture,1990,347:662-665.

[100]CLARK G H. Panaguna copper-gold deposit[A]. HUGHES FE.Geology of the Mineral Deposits of Australia and Papua New Guinea[C]. Australia :Australian Institute of Mining and Metallurgy, 1990. 1807-1816.

[101]COLEMAN M, HODGES K. Evidence for Tibetan Plateau up-lift before 14 Ma ago from a new minimum age for east-west ex-tension[J].Nature, 1995, 374:49-52.

[102]CHEN W J, LI Q, HAO J, et al. Post crystallization thermal evolution history of Gangdese batholithic zone and its tectonic implication[J].Science in China, 1999, 42 (1) : 37-44.

[103]Candela P A.Controls on ore metal ratios in granite-related ore systems:an experimental and computational approach[J].Transac-tions of the Royal Society of Edinburgh:Earth Sciences,1992,83:317-326.

[104]COULON C, MALUSKI H, BOLLINGER C, et al. Mesozoic and Cenozoic volcanic rocks from central and southern Tibet:39Ar/40Ar dating, petrological characteristics and geodynamic sig-nificance[J].Earth Planet Sci Lett, 1986,79: 281-302.

[105]Chung S L, Liu D Y, Ji J Q, et al. Adakites from continental collision zones:Melting of thickened lower crust beneath southern Tibet[J].Geology,2003.

[106]Beus A, Grigorian S V. Gechemical Exploration Methods For Mineral Deposits (M) . Moscow: Applied publishing LTD, 1975: 124~127。

[107]DEWEY J F, SHACKELTON R M, CHANG C, et al. The tectonic evolution of the Tibetan plateau[J].Phil Trans RoySoc Lond,1988, A327:379-413.

[108]Defant M J, Drummond M S, Mount St. Helens: potential example of the partial melting of the subducted lithosphere in a volcanic arc[J]. Geology,1993,21:547-550.

黑龙江省塔河县宝兴沟金矿床成矿地质条件及找矿潜力分析

作者：李向文
专业：矿产资源经济与技术
指导教师：杨言辰 教授

中文摘要

宝兴沟金矿位于大兴安岭—内蒙地槽褶皱区额尔古纳地块南东缘的塔河过渡带内，处在黑龙江拗陷腰站断陷南缘与十八站隆起北缘交接部位。通过区内成矿地质条件与地质、地球物理、地球化学标志等研究表明，本区成矿地质条件优越，找矿标志明显，具备较好的找矿潜力。

区内地层只出露侏罗系中统二十二站组、额木尔河组及第四系。岩浆岩呈岩株状分布，岩性为燕山期花岗斑岩、闪长玢岩、辉绿玢岩、花岗细晶岩；脉岩主要有辉绿玢岩脉、闪长玢岩脉、花岗细晶岩脉。区内构造主要为断裂构造，主要有北东向的依西肯—二十站断裂、绥安站—十五里桥断裂，及北东向、北西向次级断裂；环状构造发育，北西部多个环状构造呈北西线状定向分布，多数可能与成矿有关浅成—超浅成侵入体有关，除少数岩体已出露外，其可能存在隐伏岩体。

矿体与闪长玢岩、辉绿玢岩等浅成侵入体关系密切，呈脉状产出于闪长玢岩、辉绿玢岩与二十二站组砂岩接触带中，赋矿岩石为蚀变砂岩和蚀变闪长玢岩。目前研究区共发现 4 个矿化蚀变带，13 条破碎蚀变岩型金矿体，控制长度 240-1147 米，平均厚度 0.50-10.45 米,平均品位 $1.12-2.79\times 10^{-6}$ 。矿石中金属矿物主要为黄铁矿，其次是黄铜矿、斑铜矿、闪锌矿和方铅矿。成矿有关的围岩蚀变以中-低温蚀变为特征，主要有硅化、碳酸盐化、绢云母化、绿泥石化等。金矿体受北东向线性构造及侵入接触带控制，成矿与闪长玢岩、辉绿玢岩等浅成侵入体关系密切。区内北西部发现多个环状构造，多数可能与成矿有关浅成—超浅成侵入体有关，除少数岩体已出露外，其可能存在隐伏玢岩岩体。

矿区岩、矿石的稀土元素配分模型为轻稀土富集的右倾配分模型，Eu 异常呈负异常到微弱正异常的特征；与成矿有关的闪长玢岩、辉绿玢岩具有高钾钙碱性玄武岩特征。区内存在较强的后期叠加富集特征，是找寻 Au、Ag、Pb、Sb 矿化或矿床希望较大。

对该岩体进行锆石 U-Pb 年龄测定结果显示，其侵位年龄为 $124.92\pm 1.3\text{Ma}$ ，考

考虑到岩体与金矿成矿密切的时空关系，认为成矿时代略晚于 $124.92\pm 1.3\text{Ma}$ ，属于早白垩世。矿床成矿物质主要来源于侏罗系二十二站组砂岩和早白垩世闪长玢岩、辉绿玢岩，成矿热源来自岩浆活动，成矿流体均一温度 $266.9\text{-}319.6^{\circ}\text{C}$ ，峰值 $280\text{-}290^{\circ}\text{C}$ ，成矿深度 $0.8\text{-}1.2$ 千米，由此确定该矿床为浅成低温热液型矿床。

根据已发现矿床(点)的矿床地质特征，对区内主矿体外围的土壤异常和激电中梯异常进行综合评价，圈定出可供进一步勘查的找矿靶区 2 处，预测潜在资源量为 4000 千克左右，为后续勘查工作指明方向并提出了建议。从现有研究成果看，宝兴沟金矿床及外围具有良好找矿前景，有望成为大型金矿床。

关键词：

矿床地质特征，成矿条件，找矿潜力评价，宝兴沟金矿

Analysis on the prospecting potentiality and
Ore-forming geological conditions
in Baoxinggou Gold Deposit in Tahe, Heilongjiang Province

Author: Xiangwen Li

Speciality: Mineral Resources Economy and Technology

Tutor: Yanchen Yang

Abstract

The Baoxinggou gold deposit is located in the Tahe transition zone in southeastern border of Eerguna massif, in geosyncline folded belt from Daxinanling to Inner Mongolia, in the intersection of southern fringe of Yaozhan fault depression and north margin of Shibazhan uplift. Mineralization condition in this region is advantageous, Ore-prospecting criteria, and it also has a good prospecting prospect.

The main strata of this mining area are only Jurassic twenty-two station formation, Eemian river formation and Quaternary; Magmatic rock strata in shape, which contains granitic porphyry, dioritic porphyrite, diabase porphyrite and granitic aplite. The Vein rocks are mainly diorite porphyrite, diabase porphyrite and granitic aplite. Fracture structures mainly exist in this area, which consists of the north-west Yixi to twenty-two station fracture, Suian station to fifteen Bridge fracture, and the north east, North west Subprime fracture. Ring structures are also developed in this area, which are in the north west that of directional distributed, and they are likely to be relevant to the shallow or super shallow intrusions. Hidden rocks may exist beside of some exposed rocks.

The ore body is closely relevant to the shallow intrusions, such as diorite porphyrite, diabase porphyrite, etc, which are veins in the contact area of diorite porphyrite, diabase porphyrite, and twenty-two station sandstone. The Ore-hosting rocks are altered sandstone and altered diorite porphyrite. Four mineralized altered zones and 13 broken altered mine bodies are found in this study area, with a control length of 240 to 1147m, an average thickness of 0.50 to 10.45m, and a tenor of 1.12 to 2.79×10^{-6} . Pyrite are the main metal minerals, others such as chalcopyrite, copper, sphalerite and galena may also exist. The altered degree of ore-forming relevant wallrock is characterized as the mid-low temperature alteration, which consists of silica,

carbonatization, sericitization and chloritization, etc. Gold ore is mainly controlled by the north east linear structures, which also control the Au anomalism that displays a north eastern distribution. There are strong superposition characters in later period, where is the key for searching the Au, Ag, Pb, Sb deposits.

The rare-earth element models of the mining rock and minerals show the enrichment of light elements, which have the characters of Eu negative to weak positive abnormal. Ore-forming related diorite porphyrite and diabase porphyrite show a high k calcium alkaline basalt. By the means of zircon U-Pb dating, a 124.92 ± 1.3 Ma age can be estimated for the intrusion age. Considering the relationship between the rock and the gold deposit, we conclude that the metallogenic epoch should be slightly later than 124.92 ± 1.3 Ma, which belongs to early cretaceous. The main metallogenic materials come from the Jurassic twenty-two statio sandstone, early cretaceous diorite porphyrite and diabase porphyrite. The heat source comes from magma activities, and the uniform temperature of ore-forming fluid shows from 266.9 to 319.6°C, with a peak of 280-290°C. The metallogenic depth is 0.8-120 kilometers. Therefore this deposit is considered to be the epithermal deposits.

According to the geological characteristics of the main orebodies that are discovered, soil anomalies and electrical anomalies of the outer area of main orebody are evaluated, to decide 2 research areas for further exploration, which are predicted to have a potential amount of about 4000 kg, and to put forward some Suggestions for indicating the direction for follow-up exploration work.

Based on the existing research results, Baoxinggou gold deposit and its periphery shows a good prospect of becoming a big gold deposit.

Keywords:

geological characteristics, Ore-forming conditions, prospecting potential evaluation, Baoxinggou Gold Deposit

致 谢

转眼间硕士阶段学习生活即将告一段落。在此论文完成之际，向所有关心、帮助和指导过我的师长和同学表达我最诚挚的谢意！

首先感谢我的导师杨言辰教授，导师在学习、生活和工作等方面给予我很大的关心、支持和帮助，我的每一点进步都凝结着导师的辛勤汗水，也寄托着导师的殷切希望。论文从研究选题、资料收集、野外考察、室内分析研究、以至于关键问题的推敲及最终定稿，都是在导师杨言辰教授的精心指导下完成，在此对导师的深切关怀和无私的帮助表示最诚挚的感谢！

导师敏捷的思维、渊博的知识、高尚的人格魅力，严谨的治学态度、踏实的工作作风和忘我的工作热情深深地感染了我，为我今后的学习和工作树立了很好的榜样，这必将使我终生受益。师恩永在，师道长存，祝老师在今后的日子里身体健康，事事顺心！

感谢吉林大学地球科学学院给我读书这次机会，感谢给我任课的各位老师，感谢地学院帮助过我的叶松青教授、王可勇教授、孙德有教授、李绪俊教授等老师，他们的热情帮助与指导，才使我的论文能得以顺利完成。

野外工作及论文编写中，同时也得到了武警黄金第三支队王献忠总工程师、公维国主任工程师、刘智杰副总工程师、赵炳新高级工程师、李庆录高级工程师、刘涛主任工程师、刘忠田工程师、闫永生工程师等同事的大力支持与帮助，在此一并表示衷心的感谢。

感谢办公室的韩世炯、唐忠、张国宾、史鹏会、唐铭君，感谢我的室友白令安、谢志鹏、赵传振、张渝金、张朋、蔡闹等同学在生活以及学生上给予的大力支持和帮助，我们之间建立的深厚友谊将是我一生的财富。

感谢武警黄金第三支队支队首长和战友们的一贯支持和鼓励！同时还要感谢我的家人，在我的求学期间中给予的大力支持与理解，使我的学业得以顺利完成，没有他们就没有我的现在。

最后，感谢各位评委认真细致的评审和中肯的意见和建议。

导师及作者简介

杨言辰，男，1965 年生，汉族，博士，教授。1987.2-1997.5，长春地质学院地质系勘探教研室工作；1997.5-1999.10，长春科技大学文管学院资环教研室工作；1999.10-至今，吉林大学地球科学学院矿产勘查教研室工作。

研究方向：成矿规律与成矿预测、矿产资源经济与技术。

近几年来负责科研项目：

- 1.黑龙江两岸金多金属成矿带成矿地质条件与成矿规律研究（地调局 2008-2010）
- 2.黑龙江右岸金矿成矿规律与成矿预测（2009-2011）武警黄金指挥部
- 3.吉南—辽东成矿带成矿预测研究（2009-2011）武警黄金指挥部
- 4.黑河—伊春—哈尔滨钼铜多金属产业带资源开发战略（2008-2009）黑龙江省财政厅
- 5.黑龙江省海林市矿产资源调查与潜力评价（2006-2008）黑龙江省财政厅财援项目
- 6.黑龙江省伊春市前进东山铅锌矿成矿机制与找矿远景研究(2006-2007)
- 7.黑龙江省遥感数据库建设(2005-2006)黑龙江国土资源厅
- 8.黑龙江小兴安岭-张广才岭成矿带成矿规律与成矿预测(2004-2006)黑龙江省区域地质调查所
- 9.吉林红旗岭铜镍硫化物矿床找矿新思考(2005-2007) 省科委

在吉林大学学报、大地构造与成矿、地质与勘探等刊物上发表论文 20 余篇，

著作教材：

- 1.矿山地质学实习指导，吉林大学出版社，2007
- 2.矿山地质学，普通高校十一五规划教材，地质出版社，2009
- 3.中国北方古元古代成矿带矿床成矿系列研究，吉林人民出版社，2002
- 4.资源利用与评价，校内教材，2004

获奖情况：

- 1.获得“长春市劳动模范”荣誉称号 2009
- 1.获得“吉林省五一劳动奖章”2008
- 2.吉林省“三育人”成果奖 2007
- 3.吉林大学教书育人先进个人、优秀党员（2007）
- 4.地矿部科技进步奖三等奖 2 项、四等奖 1 项
- 5.吉林省教委科技进步三等奖 1 项、吉林省教委优秀教学成果三等奖 1 项
- 6.中国黄金学会科技进步三等奖 1 项
- 7.吉林大学优秀教材一等奖 1 项
- 8.长春地质学院优秀教材三等奖 1 项
- 9.长春地质学院优秀教学成果一等奖 1 项

通信地址：长春市建设街 2199 号吉林大学地球科学学院矿产勘查教研室

邮编：130061

李向文，男，汉族，1976 年 1 月 21 日出生，黑龙江省海伦市人。2000 年毕业于长安大学水文地质与工程地质专业，2008 年 9 月至 2011 年 6 月在吉林大学地球科学学院攻读矿产资源经济与技术专业硕士研究生，主要从事矿产普查研究工作。曾参与中国地调局项目“黑龙江两岸金、多金属成矿带成矿地质条件与成矿规律对比研究”、“吉南—辽东成矿带区域成矿预测研究”等项目工作。

通信地址：长春市建设街 2199 号吉林大学地球科学学院，邮编：130061