分类号 密级

U D C 编号

中南大學

CENTRAL SOUTH UNIVERSITY

硕士学位论文

论 文 题 目： 山西义兴寨金矿床控矿因素、矿床成因及构造地球化学找矿预测研究

学科、专业： 矿产普查与勘探

研究生姓名： 张贻舟

导师姓名及专业技术职务： 邵拥军 副教授

分类号 VDC_____ 密级_____

硕士学位论文

山西义兴寨金矿床控矿因素、矿床成因及构造地球化学找矿预测研究

Research on the ore-controlling factors,the deposit genesis and the tectononic geochemistry prospecting prediction in Yixingzhai gold deposit in Shanxi province

作 者 姓 名： 张贻舟
学 科 专 业： 矿产普查与勘探
学院（系、所）: 地学与环境工程学院
指 导 教 师： 邵拥军 副教授
副指导教师:

论文答辩日期_____ 答辩委员会主席_____

中 南 大 学
年 月

原 创 性 声 明

本人声明，所呈交的学位论文是本人在导师指导下进行的研究工作及取得的研究成果。尽我所知，除了论文中特别加以标注和致谢的地方外，论文中不包含其他人已经发表或撰写过的研究成果，也不包含为获得中南大学或其他单位的学位或证书而使用过的材料。与我共同工作的同志对本研究所作的贡献均已在在论文中作了明确的说明。

作者签名：_____ 日期：_____年___月___日

关于学位论文使用授权说明

本人了解中南大学有关保留、使用学位论文的规定，即：学校有权保留学位论文，允许学位论文被查阅和借阅；学校可以公布学位论文的全部或部分内容，可以采用复印、缩印或其它手段保存学位论文；学校可根据国家或湖南省有关部门规定送交学位论文。

作者签名：_____ 导师签名_____ 日期：_____年___月___日

摘　要

本论文运用金矿床成因及成矿预测的理论和方法，对义兴寨金矿床成矿地质条件、控矿因素及矿床成因进行了研究，分析了其成矿定位规律、矿脉产出的典型识别标志及其矿化富集标志，并在构造地球化学异常分析的基础上进行了找矿预测研究。

论文取得的主要成果如下：

1、在国内外研究现状方面，对金矿床成因类型划分及其典型特征、成矿预测的基本理论、方法技术以及找矿模型等方面进行了研究综述。

2、在区域成矿地质背景及矿床地质特征研究的基础上，分析了矿区内角砾岩筒的类型、形成机制及其与成矿的关系，认为北西向深大断裂附近的河湾和南门山角砾岩筒形成相对较早，属于晚期岩浆阶段形成的酸性高硅质成分的超浅成相岩浆产物；铁塘硐和金鸡岭角砾岩筒形成相对较晚，属于岩浆期后热液阶段形成的矽卡岩质为主的超浅成相含矿流体的产物。两者来源于统一的深部岩浆房，属深部岩浆房在不同的阶段分异出的衍生物。

3、探讨了地层、构造、岩浆岩与成矿关系，认为燕山期岩浆岩是有利的成矿母岩，而作为五台群绿岩带组成部分的具有较高金含量的本区片麻岩地层可以作为矿源层考虑；构造是成矿最重要的因素，控制了岩浆的侵入及其成矿岩体和矿体的形成和就位。

4、在综合分析成矿控制因素的基础上，对义兴寨金矿床的矿体定位规律、矿脉产出的典型识别标志以及金矿化富集的影响因素进行了综合分析。

5、在综合研究矿床地质特征以及控矿因素的基础上，认为义兴寨金矿床属典型的与燕山期中酸性岩浆侵入活动有关的中低温热液充填石英脉型金矿床，并在此基础上对其成矿过程进行了阐述。

6、在构造地球化学测量和数理统计分析的基础上，提出测区最佳近矿成矿指示元素组合为 Au→Cu，对应的高中低温指示元素的组合类型依次为：Sn、Mo→Cu、Au→Ag、Zn、Sb、As、Hg。在上述研究的基础上结合对测区有利地质找矿信息的调研和收集，提出了 6 个有望找矿预测单元，并对各单元的重要性进行了排序，总结了其地质地球化学方面有利的找矿依据和信息。

关键词 义兴寨金矿，成矿地质条件，矿床成因，成矿控制因素，

矿体定位规律，典型识别标志，构造地球化学，成矿预测

ABSTRACT

The ore-forming geological conditions, ore-controlling factors and the deposits genesis of Yiyingzhai gold deposit were studied according to the theory and method of the genesis of gold deposits and the metallogenic prediction. The location metallogenic regularity,typical recognition and mineralization of vein of Yixingzhai gold deposit were analyzed. Prospecting targets were predicted on the base of tectononic geochemistry anomaly analysis.

The main research findings in this paper are as follows:

1. The classifying causes types and typical characteristics of the gold deposits genesis and the theory, method and prospecting model of metallogenic prognosis were summarized in the domestic and foreign present research field.

2. The ore-controlling mechanism, the formation mechanism and the relation to mineralization were discussed on the basis of the introduction of region mineralization geology background and deposit geological features on the Yixingzhai gold deposit. The main conclusion shows below：Hewan and Nanmenshan breccia pipes nearby the NW-striking deep fault are shaped early relatively, belonging to the acidic siliceous ingredient production of ultra-hypabyssal magmatic in the late magma stage. Tietangdong and Nanmenshan breccia pipes which are relatively shaped lately are the ultra-hypabyssal auriferous fluid production composed maily by the skarn in the hydrothermal stage after the magma period. Both root in the unified deep magmatic chamber,belonging to differentiation derivatives at different stages in the deep magmatic chamber.

3. The relationship between mineralization and formation, structure, magma rock were discussed. The Yanshanian magma rock which was the favorable mother rock was proposed. The gneiss formation which content of Au is high in Wutai group greenstone belt is the source bed; Magma invasion, formation and emplacement of ore-forming body and orebody were controlled by the structure which is the most important factor in mineralization.

4. Location rule of orebody,typical identification mark of orebody,typical mark and factor of ore control of gold mineralization enrichment were synthetically analyzed on the basis of synthetically analyzing ore-controlling factors.

5. The Yixingzhai gold deposit related to intermediate-acidic magmas intrusive activity is considered as the typical mesothermal and epithermal gold-quartz marble deposits on the basis of geological characteristics of deposit and ore-controlling factors.The ore-forming process also is described.

6. According to 100m×20m tectononic geochemistry survey in Yixingzhai area and mathematical statistic analysis of data, association near orebodies were Au→Cu, and the optimal indicator elements in corresponding high-middle-low-temperature are Sn、Mo→Cu、Au→Ag、Zn、Sb、As、Hg association abnormity appeared in orebodies' periphery.6 prospecting targets positions were determined on basical research combining investigation and collection of the favorable ore-prospecting information in survey area.The importance of prospecting targets were sequenced. the favorable ore-prospecting information on geology and geochemistry were summarized.

KEY WORDS Yixingzhai gold deposit,The ore-forming geological conditions, the deposits genesis, ore-controlling factors, location regulariton of orebody,typical recognition,tectononic geochemistry, metallogenic prognosis

目　录

摘　要.....I

ABSTRACT.....III

前 言.....1

0.1 选题依据及研究意义.....1

0.2 研究区前人的主要工作.....1

0.3 研究领域综述.....4

0.3.1 金矿床成因研究评述.....4

0.3.2 成矿预测研究工作评述.....10

0.4 研究主要内容.....15

0.5 研究思路及方法.....15

0.6 完成工作量.....16

0.7 主要成果与认识.....16

第一章　区域成矿地质背景.....18

1.1 大地构造位置.....18

1.2 区域地质概况.....20

1.3 构造岩浆活动.....21

1.3.1 构造特征.....21

1.3.2 岩浆岩体的空间分布.....22

1.4 区域金矿床类型.....24

第二章　矿床地质特征.....25

2.1 矿区位置、交通、自然地理与经济概况.....25

2.2 矿区地质.....26

2.2.1 地层.....26

3.2.2 构造.....27

2.2.3 岩浆岩.....27

2.3 矿床地质特征.....28

2.3.1 含金石英脉带及其金矿体特征.....28

2.3.2 典型矿脉解剖及类型划分.....30

2.3.3 矿石特征.....34

2.3.4 围岩蚀变及矿化阶段.....37

第三章　成矿控制因素分析.....39

3.1 角砾岩筒与成矿的关系.....39

3.1.1 角砾岩筒地质特征.....39
3.1.2 角砾岩筒与成矿的关系.....39
3.2 地层及其与成矿关系.....42
3.3 岩浆岩及其与成矿关系.....44
3.4 构造控矿机制分析.....48
第四章 矿体定位规律及矿床成因分析.....50
4.1 成矿定位规律研究.....50
4.2 矿脉产出的典型识别标志.....50
4.3 金矿化富集典型标志及其控制因素.....51
4.4 矿床成因和成矿过程.....52
4.4.1 矿床成因.....52
4.4.2 成矿过程.....54
第五章 构造地球化学找矿预测.....56
5.1 预测区位置、概况及工作布置.....56
5.2 地表调查矿化蚀变出露情况.....57
5.3 构造地球化学找矿研究.....59
5.3.1 方法原理.....59
5.3.2 元素统计分布特征.....60
5.3.3 元素相关性及聚类分析.....61
5.3.4 异常特征及其评价.....64
5.4 综合预测分析.....75
第六章 结 论.....79
参考文献.....81
图 版.....87
攻读学位期间的主要研究成果.....97

前 言

0.1 选题依据及研究意义

义兴寨金矿地处晋东北，位于山西省繁峙县城北东 38km，矿区地理坐标：东经 113° 36′ 15″，北纬 39° 21′ 45″，面积 5.13km^2。按照传统的大地构造区划，义兴寨矿区地处恒山山脉的东段南麓，位于山西陆台五台隆起西北侧与燕山沉降带西南缘两大构造单元相互嵌接的构造岩浆活动带上，截止到目前已累计为国家生产黄金 20 余吨，该矿是山西省最大的黄金生产矿山。

山西五台山－恒山地区是我国重要的金矿床密集区，区内已知产出大型金矿床 1 个，中型金矿床 2 个，小型金(银)矿床 11 个，金矿化点 101 个，砂金矿(化)点 16 个，占全省探明的独立岩金储量 80%。义兴寨金矿床是区内较大型金矿床，同时也是华北地台北缘非常典型的脉状热液金矿床。发育于山西省东北部的五台山-恒山地区的五台群，是一套由新太古代、以变镁铁质火山岩为主的火山-沉积岩系，表壳岩以规模不等的片岩带被包围在花岗岩-片麻岩杂岩中，变质程度为次绿片岩相和低角闪岩相，是我国较为典型的花岗岩-绿岩带之一。由于其出露较好，地层齐全，界线清楚，铁、金等矿产丰富，长期以来一直为中外地质学家所关注。

本人在攻读硕士学位期间，有幸参加了导师邵拥军副教授主持的与山西紫金矿业有限公司联合开展的横向项目——“山西省繁峙县义兴寨金矿深边部找矿预测研究”，先后两次赴山西义兴寨金矿进行地表和井下地质调查和科研工作，并参加了大量的室内综合分析等工作。以该项目为依托，在导师的指导下，结合矿山实际生产需要和所学专业，以山西义兴寨金矿床为重点研究对象，选定了“山西义兴寨金矿床控矿因素、矿床成因及构造地球化学找矿预测研究”为硕士学位论文题目。目的是通过详细研究义兴寨矿区矿床的地质特征、控矿因素、矿床成因，总结该矿床的成矿定位机理，并运用构造地球化学勘查方法进行找矿预测为生产探矿提供指导性服务。

0.2 研究区前人的主要工作

义兴寨金矿是著名的大型金矿床，开采历史悠久，产出于晋东北绿岩带，吸引了国内许多院校和科研单位进行研究。发育于山西省东北部的五台山-恒山地区的五台群，是一套由新太古代、以变镁铁质火山岩为主的火山-沉积岩系，表壳岩以规模不等的片岩带被包围在花岗岩-片麻岩杂岩中，变质程度为次绿片

岩相和低角闪岩相，是我国较为典型的花岗岩-绿岩带之一。由于其出露较好，地层齐全，界线清楚，铁、金等矿产丰富，长期以来一直为中外地质学家所关注，从 1871 年李希霍芬起，到现在已有百年历史，积累了丰富的地质资料。特别自 80 年代以来，由于我国经济建设发展的需要，开展了大量的基础地质和矿产地质的生产和研究工作，完成了大量的 1/5 万区域地质调查，对义兴寨、辛庄、支家地、伯强、鹿沟、高凡、东腰庄、狐狸山等金（银）矿区进行了地质勘探工作，同时山西省地质科学研究所、天津地质矿产研究所、长春地质学院等单位先后在本区开展了专题研究工作，对本区的基础地质和以金为主的成矿作用，提出了一些新见解、新认识，取得了明显的进展。

代表性的科研工作主要有：

1967 年开展矿区铁矿勘探评价，见有金矿化迹象，并作了适当揭露工作，1976 年开始专门进行金矿普查勘探，1983 年提交了勘探报告，1984 年补勘一年。1981 年景淑慧总结了矿石矿物组分研究成果和矿石类型划分意见，提供报告编写，1982 年景淑慧总结了成矿地质条件、钾化作用问题以及标型矿物特征和金的富集规律。1983 年北京局实验站作了 3～1 矿体 1265 米中段物质组分研究，同年山西省地质矿产局鉴定室作了金的赋存状态研究[1]。

九十年代以后，许多学者从不同角度对其进行了深入广泛的研究。区域上地质上，沈宝丰，毛德宝[2]研究了五台山—恒山绿岩带型金矿床的时空分布，认为五台山—恒山绿岩带型金矿床可分为同构造晚期初生型和构造期后再生型金矿二类。不同类型金矿床产出的构造环境、地质地球化学特征明显不同。初生型金矿床空间分布主要受 NE 向的韧性剪切带控制，而构造期后再生型热液金矿床受控于 NNW 向的脆性断裂。金矿的成矿时代有三期：新太古代末期、古元古代晚期和燕山期。

在地质特征、金矿类型等方面，沈保丰等[3-5]在前人工作的基础上，通过野外地质调研、室内详细研究和综合分析，对五台山—恒山地区的花岗岩——绿岩带的地质特征、金矿类型、成矿特征、控矿因素、矿床模式、金矿的成矿作用等提出了新见解，同时对区内金矿进行了成矿预测和远景评价；在对义兴寨矿床成因研究方面，贾永山,戈全厚[6]从义兴寨矿床成因机制，成矿作用研究认为义兴寨金矿成矿是在构造和岩浆多次活动下生成的，形成岩浆作用晚期的以金、银为主的多金属矿化，与中酸性浅一超浅成火山岩有成因联系，属于中偏低温热液充填金多金属石英脉型矿床。

在对义兴寨金矿地球化学分析方面，杨红英,王建国,周军[7]对山西省义兴寨金矿的流体包裹体进行了详细研究，测试样品为本区的花岗岩、花岗斑岩、多金属硫化物含金石英脉、黄铁矿含金石英脉、片麻岩和伟晶岩 6 种，研究发

现有四个类型的流体包裹体:I 富液相气液包裹体、I_2富气相气液包裹体、Ⅱ含CO_2包裹体和Ⅲ含 NaCl 子晶多相包裹体。在矿石样品中可见到沸腾包裹体群发育,沸腾机制是热液运移时遇到火山通道及断裂而产生的压力下降。含矿石英脉的包裹体与次火山岩脉的包裹体特征十分相似,说明二者的热液具同源性，叶荣，赵伦山，沈镛立[8]研究了义兴寨金矿床地球化学后认为义兴寨金矿床为热液型脉状金-多金属矿床,矿体受岩体和断裂构造控制。金矿床分 4 个成矿期, 8 个亚期。对金矿床的矿床地质特征、成矿流体成分、性质、成矿物理化学条件及成矿时代的研究表明,成矿溶液的 pH 值为 6.16～6.53；Eh 值为-0.281～-0.280；$lgfO_2$=-3.6～-29，$lgfCO_2$=4.3～5.2；成矿温度为 190～349℃；成矿压力为 20.0～76.0 Mpa;矿床主成矿期石英的 $^{40}Ar—^{39}Ar$ 坪年龄为(131.4±3.1) Ma。

在对义兴寨金矿床矿物颗粒形成机制上，一些学者作了许多研究，姜绍飞,杜振国,刘之洋[9] 研究了义兴寨金矿黄铁矿的标型特征及成因意义, 通过义兴寨金矿床黄铁矿的世代、晶形、微量元素、热电性等标型的研究，富金地段的黄铁矿(Ⅱ,Ⅲ)具有颗粒细小、晶形为五角十二面体和复杂聚形、热电系数在+173～-278μ υ. C^{-1}，以 N 型为主的混合型导电的特点，李双保,李俊建[10]研究了义兴寨脉金矿田成矿地球化学特征，在概要介绍了矿床产出的地质背景和矿床地质特征的基础上重点研究了矿床的围岩蚀变特征，并用国际流行的 Grant 的等浓度线法进行了围岩蚀变交代过程中物质带人带出平衡的定量计算;探讨了岩浆流体和大气降水在成矿过程中的水/岩同位素交换,计算了不同温度下水/岩交换产生的流体氢、氧同位素组成的变化轨迹，判定岩浆水控制了主成矿期成矿，中生代大气降水参与了晚期成矿作用。提出了太古宙地体出露区脉金矿床矿源层的岩浆作用预富集模式，指出部分熔融作用和分离结晶作用的残留相富金，叶荣，涂光炽，赵伦山，沈镛立，罗丽[11]研究了义兴寨金矿床金矿物颗粒的产出及其成矿动力学意义，论证了金元素在含矿断裂发生脆性破裂和脆_韧性扩张活动中析出的化学反应类型,以及受反应动力学条件的制约,形成矿石中金不同产出状态的规律。指出热液矿床中普遍存在的包体金为热液成矿早期阶段断裂发生脆性破裂和成矿流体沸腾,导致快速反应结晶的产物;而裂隙金和晶隙金为成矿晚期金等矿质在流体中残余富集,同时成矿断裂再次发生脉动破裂,即成矿热力学演化与有利的构造动力学因素耦合作用的结果。得出金矿物颗粒的产出状态具有成矿动力学意义的结论。

义兴寨金矿床的成矿作用，与流体方面也吸引了许多学者前来研究，譬如叶荣等[12]承担的国家自然科学基金项目(49773192)，对义兴寨金矿床的成矿流体成分、性质、成矿物理化学条件及成矿时代进行了系统研究，认为矿床产于

中生代构造岩浆带，为热液型脉状金-多金属矿床，叶荣,赵伦山,沈镛立等[13]研究义兴寨金矿成矿作用地质地球化学动力学,通过对山西义兴寨金矿床成矿构造动力学条件的分析和研究,得出了以下认识:矿床的成矿作用可被划分为脆性破裂和脆-韧性张开两个阶段。其中断裂的脆性构造动力学条件在成矿作用早期控制成矿体系内的成矿反应快速进行,沉淀出体系物质;断裂的脆-韧性构造动力学条件在成矿作用的中晚期控制成矿反应缓慢进行,分异沉淀出体系物质。在这两种构造动力学环境中形成元素金的两种赋存状态即包体金(晶隙金)和裂隙金，田永清等[14]的成矿动力学研究，在山西省自然科学基金委的资助下，于1997 年 6 月开展了“山西五台山-恒山地区脉状金矿成矿的地球动力学研究”课题，着重讨论五台山-恒山地区脉状金矿的成矿地质背景，以该区控制金矿成矿作用的构造背景中三个关键环节-太古宙结晶基底、早元古造山带和中生代构造-岩浆活动等的构造演化，试用板块构造理论阐述了早期陆壳形成的克拉通化进程、早元古造山带的内部结构、热演化及其动力学机制以及中生代岩浆活动的构造环境。

上述工作所取得的成果，为在该区进一步开展勘查、科研工作奠定了坚实的基础。但同时还有一些尚需解决的问题，可归纳为以下几个方面：

(1)以往勘查工作主要集中于石英脉型金矿，对蚀变岩型金矿的找矿认识不足、研究不够。

(2)对控矿构造的特征及其演化研究较少，对断裂的特点及其控矿机理等还有待深入探讨。

(3)对控矿因素和成矿定位规律的认识还有待于深化，对成矿期、成矿阶段、矿物生成顺序等研究较少。

(4)在矿床类型方面，多注意区内的南北向石英脉型金矿、隐爆角砾岩型金矿，对北西向石英脉型金矿和构造蚀变岩型金铅锌多金属矿未予以足够的重视，未能从整个区域成矿和成矿系列角度，认识区内的金多金属矿化，以至于该区的找矿工作再未出现大的突破。

(5)对矿体的深部和外围找矿预测研究不够。由于缺少必要的、有效的测试方法和研究手段，对矿体向深部的延伸以及深部是否有盲矿体的存在未有明确认识。

0. 3 研究领域综述

0.3.1 金矿床成因研究评述

0.3.1.1 金矿床主要类型划分方案

金矿类型划分，长期以来一直是金矿研究的一项重要课题，国内外目前尚

无公认的统一的划分方案。不同学者采用的分类原则和标准不一，所划分的方案类型也有所不同。

总的来看，学者划分方案考虑的因素，从大的原则而论划分，考虑的因素有成矿作用、工业利用、地质环境以及综合因素等；在划分大类的基础上再划分考虑其他因素：矿床成因、含矿建造、岩石类型等再进行亚类的划分。

目前流行的分类方案主要有如下几种，分别介绍如下：

1.按成矿作用及矿床成因进行的分类主要有以下几种方案：

沈阳地矿所毋瑞身[15]等按成矿作用分类基础，再考虑成矿物质来源把金矿划分为六类：（1）变质热液类型；（2）岩浆（侵入）热液类型；（3）火山热液类型；（4）渗滤热液型；（5）沉积砾岩型（6）砂金。

成都地院郑明华[16]等按物质来源分类，再根据成矿作用分亚类把金矿划分为五类：（1）成矿物质来源于上地幔玄武岩浆的金矿床；（2）成矿物质来源于硅铝层重熔－再熔混浆的金矿床；（3）成矿物质来源于壳内岩石（或矿石）的金矿床；（4）成矿物质来源于地表岩石（或矿石）的金矿床；（5）成矿物质来自（1）、（2）、（3）、（4）（任意两种以上来源）的迭生金矿床。

长春地质学院胡伦积[17]等按成矿作用，考虑物质来源，层控、改造等观点及地球化学等特点分为 6 类：（1）岩浆分异型金矿床－幔源；（2）岩浆热液型金矿床－幔源；（3）渗滤热液型金矿床－上部壳源；（4）变质型金矿床；（5）混合岩热液金矿床－下部壳源；（6）沉积型金矿床。

吉林冶金地质勘探公司研究所朱奉三[18]按矿床成因分外生与内生两大类，再按具体成矿作用划分七类：（1）砂金或现代砂金；（2）古砂金或砾岩金矿；（3）沉积－变质（再造）金矿；（4）热水溶滤金矿；（5）变质热液金矿；（6）混合岩化热液金矿；（7）岩浆热液金矿。

2.按矿床产出地质特征结合工业利用进行的分类主要有以下几种方案[19]：

（1）石英脉型金矿床；（2）破碎带蚀变岩型金矿床；（3）细脉浸染型金矿床；（4）石英－方解石脉型金矿床。

王友文[20]按照矿石类型划分了七类：1.脉型金矿床；2.蚀变岩型金矿床；3.浸染型金矿床；4.斑岩型金矿床；5.砾岩型金矿床；6.铁帽型金矿床；7.砂金矿床。

3.按金矿体产出的地质环境进行的分类主要有以下几种方案：

加拿大博依尔[21]方案按地质环境和地球化学环境把金矿床分类成九类:（1）含金的斑岩岩墙、岩床和岩株，含金的粗粒花岗岩体、细晶岩和伟晶岩；（2）含金的矽卡岩型矿床；（3）主要产在火山岩层的裂隙、断裂、剪切带、叠席带和角砾岩带中的金－银－金矿床、网脉状、矿络、矿化岩筒和不规则的硅化矿

体；（4）主要是产在沉积岩层的断裂、裂隙、层理面不连续带和背斜上的剪切带、拖曳褶皱、压碎带和开裂隙中的含金矿脉、矿络、叠席带和鞍状矿脉，还有化学性质有利的岩层中断裂和裂隙附近的交代型板状矿体和不规则矿体；（5）产在由沉积岩、火山岩和各种火成侵入岩和花岗岩化岩石组成的复杂地质环境中的金－银和银－金矿床、矿络、网脉状、硅化带等；（6）火成岩、侵入岩、火山岩和沉积岩中的浸染状和网脉金－银矿床；（7）石英卵石砾岩和石英岩中的金矿床；（8）砂矿；（9）金的其它来源。

苏联马加克[19]按含矿建造为基础，结合产出地质特征分类成七种：（1）金－毒砂高温热液含矿建造；（2）金－多金属中温热液含矿建造；（3）金－银低温热液含矿建造；（4）前寒武纪含金砾岩和石英岩建造；（5）钼和多金属矿石氧化带中含金建造；（6）白铅矿－铅矾帽中含金建造；（7）含金砂矿床。

津巴布韦[19]按含矿的岩石类型分类成六种：（1）花岗岩中的金矿床；（2）超基性岩中的金矿床；（3）布拉瓦约群碧玉铁质岩中的金矿床；（4）布拉瓦约群沉积岩中的金矿床；（6）岩株和侵入体中的金矿床。

苏联博罗达耶夫卡姬[19]按矿床埋藏深度分成三类：（1）内生金矿床；（2）外生金矿床；（3）受变质矿床。

4. 按金矿体产出的围岩特征进行的分类主要有以下几种方案：

Launay[22]按矿床产出环境，把金矿床分为 7 类：1.在各类火成岩中呈包体出现的矿床；2.由分异作用形成的矿床,存在于主岩和接触带中的矿床；3.来自深部源与花岗岩化变质作用有关的浸染型矿床；4.细小复脉脉状矿床；5.第三纪山链中大小脉和网脉状矿脉；6.产于石灰岩中的矿床；7.含金砾岩。

罗镇宽(1990) [23]按金矿床产出时代环境把金矿床分为 6 类：1.与太古宙、早元古代变质基性火山 岩——角闪质岩石(绿岩)建造有关的金矿；2.与元古宙－古生代泥质碎屑岩(浊积岩)建造有关的金矿；3.与显生宙粉砂质泥质夹碳酸岩质沉积岩建造有关的金矿；4.与中生代(陆相)和晚古生代(海相)钙碱系列火山岩有关的金矿；5.与元古宙-古生代(海相)中基性火山岩、细碧角斑岩(蛇绿岩套)建造有关的金矿；6.产于花岗岩侵入体接触带内外的金矿。

0.3.1.2 金矿床主要类型典型特征评述

目前国内比较流行的综合的金矿成因类型划分方案主要划分为以下五种，依次为：（1）绿岩带型金矿床；（2）变质碎屑岩型金矿床；（3）沉积岩型或卡林型或细碎屑岩－碳酸盐－硅质岩型金矿床；（4）火山岩型金矿床（可细分为两个亚类型：包括陆相火山岩型金矿床和海相火山岩型金矿床）；（5）侵入岩内和内外接触带型金矿床。

其对应的典型地质特征分述如下：

（一）绿岩带型金矿床

按照徐光炽[24]的定义，绿岩带金矿主要指产于绿岩带及相伴的太古宙花岗质岩石或后期花岗岩类（其物质来源为太古宙）中的断层带内的含金石英脉金矿床和含金蚀变破碎带金矿床，次指浸染状产于绿岩带的条带状铁建造（BIF）夹层中的金矿床。

罗镇宽[25]的定义,所谓绿岩型金矿床是泛指产在花岗岩-绿岩地体背景下的金矿。

沈保丰，毛德宝，李俊健等[26]的定义，绿岩带金矿是以赋矿建造为标准的一类金矿床类型，是指产在早前寒武纪地质演化所形成的花岗岩－绿岩带的一系列金矿床的总称。

在中国绿岩带型金矿比较有代表的实例是产在小秦岭金矿田的文峪金矿。文峪金矿位于华北克拉通南缘华熊地块的小秦岭地体[27]。

文峪金矿具有中国绿岩型金矿的各种基本特征，已建立的成矿模式具体运用到文峪金矿则是：中生代，沿马超营断裂向北的陆内俯冲作用为文峪金矿和更北的文峪花岗岩体提供了物质来源和能量来源，导致矿床的形成[28]。

山东鲁西地区绿岩带金矿床也比较有代表性，它的形成与分布均与韧性剪切带有关。韧性剪切引起的强烈动力变质与构造热力作用，使得 Au 元素进一步活化、迁移，含矿热液在韧性剪切带的膨胀部位和片理化发育带(扩容带)交代蚀变、富集成矿，形成绿岩带变质热液一构造蚀变岩型金矿床[29]。

山西五台县东腰庄金矿也是典型的绿岩带型金矿，它成群成带顺层展布于鸿门岩组中下部，具明显的层控特征。成矿模式可概括为:火山－沉积－区域动力变形变质－褶皱转折端扩容成矿－韧性剪切带扩容成矿－改造叠加富集成矿。成矿作用主要发生在五台中期，并严格受该期形成的李家庄－大草坪韧性剪切带控制。主要控矿因素是矿源层、热动力和构造，其中构造是最主要的控矿因素构造－变质热动力叠加改造的矿源层是最佳的成矿和找矿地区[30]。

（二）变质碎屑岩型金矿床

变质碎屑岩型金矿相当于国外所称的浊积岩型、硬砂岩型或黑色岩系型金矿床。该含矿岩系主要为区域性变质岩，金的存在形式以明金为主。这类矿床的研究在国外发展较快，并已发现一些超大型金矿床，如前苏联的穆龙套、澳大利亚的本迪戈和加拿大的洛奈夫等金矿。但国内目前对该类金矿未能给予应有的重视。涂光炽[31]认为，目前它不但在我国分布面积比较广，而且从地质背景来看，它是我国最有前景的金矿类型之一。

中国典型变质碎屑岩型金矿床是平江的黄金洞金矿床,综合该矿床地质、地球化学资料和成因讨论中的数据，可以概括出简要的成矿模式：(1)从铅双阶段演化的模式年龄推断，可能在海西期，由于异常地幔上拱，使区域不均匀上

升，形成近 EW 向隆起，随后产生近走向（EW）断裂和褶皱系；(2)该隆起长期暴露在水体之上，使大气降水沿断裂带下渗，在深部加热后在断裂带周围形成热水循环；(3)在地层分散干酪根热降解物（CH_4）等和热脱羧物（CO_2）的参与下，使低盐度的热水更具有溶解造岩矿物，萃取 Au 和其他元素的能力；（4）当热水循环上升到一定高度后，由于环境的温、压降低，使 CO_2、CH_4 等气化而脱离成矿热水体系。CO_2 的丢失使该体系中的 PH 值升高，温、压降低，这时便形成石英脉，Ca-Mg-Fe 的碳酸盐、黄铁矿和毒砂化等。随着矿脉的继续形成，总硫和温度进一步降低，使体系中 Au 浓度增高或饱和，使 Au 在晚期脉形成时沉淀在早期脉和载金矿物的各种超微裂隙和粒间。（5）最后成矿流体变为富水体系，通过断裂带继续上升，体系变冷并放出 CO_2,便形成较小的含锑矿物的石英脉[32]。

湘西沃溪金矿床也典型的变质碎屑岩型金矿床，它主要分布在保靖－沅陵－益阳及沅陵－溆浦－靖县一带。沃溪金矿的成矿主要与地层及构造有关，矿床产出与本区冷家溪群、板溪群马底驿组、五强溪组等特色层位有关，这些地层成为了沃溪式金矿的矿源层;在江南古陆的演变过程中，随着近东西向韧性－脆韧性剪切系统断裂的形成和近南北向韧性－脆韧性剪切系统的发育，前寒武系变质岩系中的金活化转移，在以上两个剪切系统及其派生的小型构造裂隙内富集，形成工业矿体[33]。

（三）沉积岩型金矿床

沉积岩型金矿指产在未经区域性浅变质的细碎屑岩、碳酸盐岩和硅质岩中的金矿床，又称卡林金矿。Boyle（1979）[34]将它称作为：“化学上有利于成矿的沉积岩中的浸染状矿床”；又因金粒极细小，基本为不可见金，故国内不少学者称它为微细粒浸染型金矿。沉积型金矿是我国重要的金矿类型，它以在地区分布上比较局限，矿床规模大，品位较低，金粒细小是我国重要的金矿类型，它以在地区分布上比较局限，矿床规模大，品位较低，金粒细小而又分散为其特征。

在中国典型的沉积岩型金矿床是丹寨金矿。丹寨金矿产在三（都）－丹（寨）汞矿带中，在该矿带东侧有沉积岩型的苗龙金矿。丹寨金矿成矿过程至少可以分为两期：第一期形成金的矿源层（层），第二期为改造成矿期形成金汞矿体。

甘肃岷县寨上金矿床也是经典卡林型矿床类型，寨上金矿床形成具有多种成因、多期次多阶段的递进演化的特点，矿床形成经历了:①成矿物质沉积一成岩的初始富集期;②变形构造叠加和热液改造成矿期;③表生氧化富集期。总体上属于层控性质的卡林型金矿床[35]。

陕西凤县八卦庙金矿床也是沉积岩型金矿床类型，八卦庙金矿床是产于秦

岭地区(浅变质)细碎屑岩中的特大型金矿床。它的赋矿地层为上泥盆统星红铺组,容矿岩石主要为一套陆源细碎屑岩和泥质岩,经过区域浅变质作用成为千枚岩(板岩)[36]。从矿床中心到矿床边部，各类地质样品的金含量的平均值和最大值均有从高到低的变化趋势，此类矿化特点可能与热水沉积局部提供丰富的成矿物质有关，在热水沉积阶段形成矿源层甚至贫矿体。后期构造活动对矿源层或矿胚中的金进一步富集成矿起了重要的改造作用[37]。

（四）火山岩型金矿床

火山岩型金矿床分为陆相及海相火山岩型金矿床。

陆相火山岩型金矿床，既包括了那些赋存于陆相火山岩－次火山岩系中的金矿，也包括了那些产于与火山岩－次火山岩系毗邻的地质体中的而又具备陆相火山岩型金矿床地质、地球化学特征的矿床。

典型的陆相火山岩型金矿床有位于台湾省北端基隆港东的金瓜石金矿。该地区主要出露中新世砂岩、页岩，它们可能是更新纪的英安岩岩筒侵入，金矿化即赋存于此岩筒的次火山岩及其周围的中新统沉积物中。硫同位素测定出了集中的，低 $\delta^{34}S$ 正值的，说明了硫的深部来源。重晶石－黄铁矿对硫同位素测温结果与汽液包体测温结果吻合，成矿温度主要落在 240～300° C 区间[38]。

吉林省五凤-五星山金矿床也是陆相火山岩浅成热液型金矿床,侏罗系上统金沟岭组火山岩为其主要矿源层，矿体受火山机构的断裂、裂隙和次火山岩脉内外接触带的控制。通过含盐度、成矿温度、成矿深度和压力、稳定同位素特征分析可推断五凤一五星山金矿床为典型低硫体系的浅成低温热液型矿床[39]。

福建紫金山（铜）金矿床是陆相火山岩高硫中低温热液矿床，矿床位于华南褶皱系东部，燕山晚期的火山一岩浆热液活动对紫金山地区的蚀变和成矿作用有重要影响[40]。

海相火山岩型金矿床系指太古代绿岩带以外，元古代以来含矿系为海相火山岩的金矿。我国海相火山岩型金矿主要分布于西部，尤其是西北地区。

典型的矿床有系准葛尔哈图－萨尔托带金矿。它是新疆最重要的金矿区。它可以分为两个带，即南部的萨尔托金矿带和北部的哈图－辉绿山金矿带。前者主要分布在萨尔托海蛇绿岩带及其附近，有些矿床就分布在蛇绿岩中，亦有些矿床分布于不属于蛇绿岩套的弧后海盆沉积－火山岩系中。北带金矿床主要是沿安基断裂分布，本带无蛇绿岩套地层，部分矿床赋存于中基性火山喷发的火山机构中[41]。

（五）侵入岩内和内外接触带型金矿床

本类型金矿产出的一级大地构造单元，通常为褶皱造山带，板块碰撞带或俯冲带，古陆带或古大陆边缘，克拉通内的裂谷带，以及地体的周边等矿床的产出与构造的关系密切，往往与深大断裂及与其相联系的次一级断裂有关。本

类型金矿具有如下各项特征：（1）需有侵入体的产出；（2）侵入体的时代不限；（3）被侵入体的围岩时代不同，但围岩的岩性类似；（4）以石英脉为主构成矿体；（5）共生元素组合及矿物组合比较简单；（6）稳定同位素特征：一种产于侵入体内和内接触带中的矿体，其硫同位素 $\delta^{34}S$ 值接近于零，一种产于外接触带中的矿体，其中的硫源常受到地层的影响，因此，除深源的硫以外，还有地层硫的参与，硫就具有混合来源的性质；（7）成矿温度变化较大，从 180～300 °C 的均有记录；（8）蚀变类型与侵入体的岩性和围岩的类型（岩性）有一定的关系，但主要的蚀变类型基本相同，最常见的蚀变有硅化、绢云母化和黄铁矿化，其次有绿泥石化和碳酸盐化等；（9）金的成色变化较大[42]。

新疆的金窝子矿床是比较典型的侵入岩内和内外接触带型金矿床，位于甘肃和新疆交界处的星星峡以东 20km 处，大地构造位置属于天山褶皱带和北山褶皱带之间的过渡部位，矿体主要产于金窝子花岗岩体的内部[43]。

0.3.2 成矿预测研究工作评述

0.3.2.1 成矿预测理论

随着现代科技的迅速发展和人类对矿产资源需求的日益增长，找矿工作已由地表矿、浅部矿、易识别矿转向寻找隐伏矿、难识别矿，矿床信息成矿预测因此而成为成矿学研究领域中的前沿和热点[44-46]，成矿预测理论和方法也得到了迅速的发展。

成矿系列[47]是在一定地质时期和一定的地质环境中，在一定的主导地质成矿作用下形成的，时间、空间和成因上有密切联系，但其具体生成条件有差别的一组矿床类型的组合。成矿系列着重研究成矿区带中一个主导地质作用形成的诸矿床之间时、空、成因联系，对于同一成矿区带中各种有成因联系的不同的矿床类型的隐伏矿体的定位预测具有重要的意义。成矿系统[48]是指在一定地质时、空域中，控制矿床形成和保存的全部地质要素和成矿作用过程，以及所形成的矿床系列和异常系列构成的整体，“它主要从成矿要素、成矿作用过程、成矿作用动力学去研究成矿的总体特征，包括矿床组合及有关地质异常形成的原理”。这种整体性的、全方位思维对已有矿山的深、边部隐伏矿体进行综合定位预测具有现实的意义。

自十九世纪三十年代，C·莱伊尔提出“将今论古”的现实主义原则以来，“相似类比”一直是地质学研究所遵循的基本方法原理，该理论认为，在相似地质环境下应有相似的矿床产出，相同的地质范围内，应有等同或相近的资源量。在矿床学和矿产勘查领域表现为各种成矿模式和找矿模型的研究和应用。“相似类比”理论的指导思想是“一切可能的共性(相似)特征都可能成为预测

(类比)的依据” 以“相似类比”原理为基础，通过研究某一类矿床的成矿规律、成矿模式来进行找矿预测对传统矿产勘查具有指导作用，而且在指导国内外找矿的长期实践中取得了不可磨灭的功绩。相似类比理论在寻找同类型的矿床上具有一定的作用，但对不同类型矿床的寻找与勘查则显得有些不足。

以“相似类比”原理为基础，通过研究某一类矿床的成矿规律进行成矿预测是过去几十年来贯用的思维。这种思维对发现同类矿床具有重要意义，但是也有其局限性，即不能发现新类型矿床，随着地表矿、浅部矿、易识别矿的日益减少，找矿正向着寻找隐伏矿、深部矿、难识别矿的趋势发展，为适应新的找矿形势，弥补“类比”原理找矿的不足，自 90 年代以来，赵鹏大等[49]提出了以“求异”原理为基础的“地质异常理论”，强调有利成矿地段往往都处于地质异常单元之内；前苏联学者也曾有相似的论断:“最重要的矿床赋存于地壳中具有最大异常地质结构性质组合的地段。因此，对象的异常性应该是最有远景的”。但真正使“求异”理论得到发展、完善并运用到实践中去，则是最近几年的成果。陈永清等[50]运用“求异理论”在鲁西铜石金矿田对矿体潜在地段进行了圈定，并取得一定成功。曹瑜等[51]在云南某地区运用“求异理论”成功地圈定了“5P”找矿地段，并建立了 GIS 成矿预测空间模型。对于隐伏矿体定位预测来说，“求异”理论打破了已有观念，提供了一种全新的思维。

裴荣富等[52]在总结国内外 300 多个大型矿床的基础上，提出中国特大型矿床的形成具有时空偏在性，主要表现在对矿种、矿床类型、成矿时间和成矿背景的特殊选择，这种成矿偏在性主要取决于地、物、化、遥等多种要素非常罕见的耦合汇聚。“偏在性”理论的提出为特大型隐伏矿床的定位预测提供了新的思路。

此外，“在新的地区用老的观念而找到矿，在老的地区用新的观念也可以找到矿，唯独在老的地区用老的观念是很难找到矿的”这种经验式论点也已被大多数找矿专家接受。

0.3.2.2 成矿预测方法技术

进入 21 世纪以来，科学技术的迅猛发展，为隐伏矿体定位预测注入了新的活力。各种新技术，新方法的引用，促使更多的与成矿有关的信息不断地被挖掘出来，促进了矿体定位预测的飞速发展。

在地球化学方面，目前国内外常用的有原生晕法、次生晕法、水化学法、生物化学法、湖沉积法、分散法、气体化学法;此外尚有航空地球化学探矿、同位素地球化学探矿、海洋地球化学探矿、动植物地球化学探矿、苔鲜地球化学探矿、地电化学探矿、矿物包裹体测温探矿法以及人工吸附剂法等。这些方法都是一些常规的应工月非常广泛和普及的方法，在隐伏矿体定位预测中均起到了一定的作用。

除此之外，还有一些非常规方法，如地电化学参数测量法[53]、铊地球化学异常法[54,55]、构造地球化学法[56]、野外 X 荧光光谱测量法[57,58]、地电化学提取法[59]、以及汞气法[60]等，在隐伏矿体定位预测中发挥了非常重要的作用，并在实际的找矿过程中取得了不同程度的效果。

在新技术、新方法的应用方面，国外近年来尤其重视提取与气相相关的样品介质中的找矿信息，如美国 PetrxMineral 公司研究的“指纹法”，瑞典 BolidenMineralAB 公司推出“地气法”均是这方面的代表。

国内在新方法的引用方面也进行了大量的尝试，并取得了一定的成果。代西武等[61]在山东埠上金矿利用矿床原生晕法进行隐伏矿体预测，在-300m 标高以下找到了富金矿;沈远超等[53]利用地电化学参数法在不同地区，不同金矿类型中进行试验，结果表明该法在寻找隐伏矿体方面具有快速、有效、低成本、高精度的特点，效果显著；常向阳等[62]在云南金平龙脖河铜矿运用铅同位素系统剖面法进行隐伏矿体深度预测，验证结果表明效果显著；周蓉生等[58]在四川会理、会东和甘孜地区应用新研制的小型 X 荧光仪找到了较好的异常，由于此法具有“携带仪器，定点测量”和“逐点取样，驻地测量”两大特点，并且一次可以测定多种能满足现场快速评价的元素，因而对隐伏矿体定位预测具有重要的意义；在流体示踪方面，孙晓明等[63]引进了一种新的成矿流体示踪法-流体包裹体 N_2-Ar-He 示踪体系；解习农等[64]在莺歌盆地利用热流体活动中的混度效应进行示踪研究也都取得了一定的成功。

在数学地质方面，除了常规的因子、判别、聚类、回归等多元统计方法之外，目前国内外常用的方法有逻辑信息法、特征分析法、秩相关分析法、找矿信息量法、欧氏距离法、条件概率分析法、齐波夫定律、模式识别、模糊聚类分析、马尔科夫概型分析法、对应分析、非线性映射分析、层次分析法、成矿有利度法、杨氏复杂矿床评价法、杨氏滤波法、小波分析法等[66]，各种方法在隐伏矿体定位预测中均发挥了各自的优势，并已取得了一些成果。王志华[67]利用综合趋势分析法在河南文峪金矿成功地预测了深部富矿段；王功文[68]在云南玉龙斑岩铜矿利用切比雪夫曲线进行了深度预测;肖克炎[69]从条件概率理论出发，对成矿预测中的证据权重法与信息量法进行了深入的对比研究并已应用到实践中；陈建国等[70]利用小波分析成功地提取了深层次的物化探异常信息。所有的这些成果均表明，矿体定位预测正由定性转向定量化阶段，数学地质新方法的不断完善和引入，必将导致隐伏矿体定位预测向定量化、准确化方向推进。

在地球物理方面，除了常规的重力法、磁法、电法、地震法、放射性法、地温法等以外，近年来还有一些新方法在隐伏矿体定位预测中发择了重要的作用。以浅层地震勘探法、可控源音频大地电磁法(CSAMT)、地面时间域电磁法

(TEM)、伽玛能谱测量法以及多频激电相位法、近矿多参数激电法为代表，这些方法均以其勘探深度大，有研究地球大三维空间的能力而占有优势。中南大学何继善院士研制的“三频激电仪”以其勘探深度大、分辨率高，能区分矿与非矿异常而成为了隐伏矿体定位预测中的典型代表[71]，目前，采用该法已相继在中条山铜矿、黄沙坪铅锌矿、湘西金矿、铜陵凤凰山铜矿、新疆喇嘛苏铜矿的找矿预测中取得了明显的成效。

国外目前流行利用综合物探来找矿，也取得了明显的经济效益和找矿效益；澳大利亚利用综合物探法在新南威尔士科巴地区找到了一个大型的隐伏铅锌、银多金属矿床:前苏联也曾用综合物探法在雅库特、哈撒克斯坦等地区相继发现了一系列新矿床。

除上述方法外，国外最近新研制了一种地球物理层析成相技术，它是利用医学方面的成果“CT”扫描技术而创立的，该方法探测深度可达 2900 公里,目前在隐伏矿体定位预测中还未引川，相信在不久的将来，随着其它配套设施的完善，必将给隐伏矿休定位预测注入新的活力。

0.3.2.3 成矿预测模型

在成矿预测方法上，模型预测方法一直占据主导地位，成矿预测方法的发展主要体现在模型的发展上。早期的概念模型和经验模型以相似类比理论为基础，结合矿床学和成矿学的相关理论而建立起来的成矿预测模型[72]。

60 年代末期，前苏联开始物理一地质模型研究。70 年代中期以来，前苏联的地球物理工作者在乌拉尔和阿尔泰矿区做了大量工作，先后提出了铁矿床、内生稀有金属矿床、含铜黄铁矿床、硫化铜镍矿床、斑岩铜矿床及铅锌矿床的地质、地球物理、地球化学模型。目前，他们研究的模型很多，有地质成因模型、分类—标志模型、同等要素组合模型（地质—地球物理模型、物理—地质模型、几何化模型）、地质—工业定量模型、形态模型、富集模型以及多因素模型等[73]。这些模型均是结合找矿实践在先进的成矿理论的指导下建立的，其目的就是要对各种成矿信息进行综合分析，从中选取出最主要的控矿要素，从而最大可能地减小找矿的风险性，提高找矿的命中率，提高预测效果。

西方国家则侧重于矿床理想成因模型和次生环境地球化学异常理想模型的研究。我国的地学专家从 80 年代以来，也开始探索模型找矿。从早期的地质—地球物理模型、地质—地球化学模型，发展到现在的地质—地球物理—地球化学综合地学找矿模型，而且还加入了遥感及其它方面的内容，进行多元信息综合找矿预测。袁奎荣等[74]通过对隐伏花岗岩及其深部找矿的地、物、化、遥等各种方法的应用和研究，总结出了一整套对隐伏花岗岩及其矿体定位预测行之有效的方法和手段，为综合地学找矿模型的建立奠定了基础。王钟等[75]通过对铜陵铜矿、新疆铜镍矿、滇东南锡多金属矿等矿床模型的研究，建立了一批具

有中国特色的综合地学找矿模型，不仅完善了模型理论，而且对隐伏矿床的找矿预测形成了明确的方法技术。随着找矿难度的加大，综合地学找矿模型也面临着严峻的挑战。因为地球是个复杂的巨系统，找矿实际上也是个系统工程，需要多种新理论、新技术和新方法的综合应用，这也在客观上促进了综合地学找矿模型的发展，并且在实用性和快捷性方面提出了更高的要求。综合地学找矿模型是地学研究中的一个深层次的、跨学科的新领域，它主要是通过对各种与矿化有关的信息的相关性和制约性的研究,进而找出最佳的找矿标志组合，来指导找矿预测。它既可用于已有矿山深边部的找矿预测，也可为新地区隐伏矿体定位预测服务。在当前隐伏矿体定位预测中应用最广泛、作用最明显，是成矿学领域中研究的热点。其主要研究方法就是多源地学信息综合研究法，以成矿地质理论为指导，充分发挥计算机技术、数学方法、遥感技术、物化探技术的优势，对各种与矿床有关的信息进行量化分析，从而进行隐伏矿体定位预测。目前已被广泛运用到了找矿实践中，并取得了明显的成效。廖崇高[76]通过对地、物、化、遥等多源信息的量化处理，在兰坪盆地进行了成矿预测，取得了较好的效果；刘燕君等[77]利用多源信息综合分析方法对东坪式金矿盲矿体成功地进行了预测；王世称等[78]在研究金矿体的定位预测中，也运用了多源信息综合分析法，取得了明显的成效。

模型找矿，就其本质而言，就是按照先进的成矿理论结合地质实践建立模型进而指导找矿，是针对过去理论研究脱离、超前找矿实践弊病提出的，它以先进的成矿理论为指导来收集、分析和研究与成矿有关的各类信息，进而总结出最客观的认识，最主要的控矿要素，最有利的找矿标志，进而进行找矿预测的一种方法。由于模型找矿是理论与实践相结合的产物，因而得到了理论界和勘查界的一致认可。世界各国都充分开展了模型找矿，取得了可喜的成果。美国根据圣马纽埃矿床建立的斑岩铜矿蚀变分带模型,成功地发现了隐伏的卡拉马祖斑岩铜矿床；加拿大直布罗陀斑岩铜矿床、墨西哥拉卡里达德斑岩铜矿床、葡萄牙内维斯一科尔沃铜矿床以及澳大利亚奥林匹克坝铜矿床[79]也都是根据已有的成矿模型找到的大型－超大型矿床。我国在这方面也有不少成功的例子，彭程电[79]根据岩舌下凹兜成矿模型新发现了老厂矿田双竹矿床；姚金炎[80]根据长坡矿床的矿体类型与分带模型，推断并发现了大福搂锡矿床；关键[81]在开展1：50000 综合物化探调查的基础上，利用地质－地球物理－地球化学综合找矿模型在吉林通化老岭成矿带成功地对隐伏金矿体进行了预测。

以上这些成功的范例，均说明模型找矿在隐伏矿体定位预测中有着举足轻重的作用，是隐伏矿体定位预测的主要手段和方法。

0.4 研究主要内容

1、矿床成因、成矿定位规律和控矿因素的调查研究

在认真总结分析前人已有资料的基础上，对与成矿有关的重要的地质现象重点调研，结合典型矿脉的解剖，进行矿床成因、控矿因素和矿体富集规律的研究。

2、构造地球化学探矿研究

本次地球化学勘查采用具有一定深穿透性能的构造地球化学方法进行，工作区范围范围包括金鸡岭及外围测区 1.44km^2，以线距 100m，点距 20m 网度进行测量，勘查的目的是圈定有利的构造地球化学多元素综合异常带，为寻找深部隐伏矿脉的定位空间提供依据。

3、隐伏矿体综合预测

应用现代信息处理技术对上述各项工作所取得的找矿信息进行合成处理，根据现代成矿预测理论对上述各项调查研究结果进行综合分析，对工作区内的隐伏矿体进行综合定位预测和评价。

0.5 研究思路及方法

1、野外地质调研：

（1）对金鸡岭及外围 1.44km^{2}进行 1：5000 的地质填图，了解矿区内的地质条件，成矿环境等。

（1）构造地球化学测量，范围包括金鸡岭及外围测区 1.44km^2，取样网度 100m×20m。

（3）对典型地质现象（断层、蚀变组合、矿脉错动等）进行详尽的编录和地质点调查，查明矿床的成因，控矿因素，成矿定位规律。

2、室内测试：

（1）构造地球化学样品分析，测试元素包括 Cu，Pb，Zn，Au，Ag，Hg，Sb，As，Sn，Mo，Bi 和 Mn（由桂林矿产地质研究院测试中心完成）

测试方法：微量元素分析。

（2）磨制一定批量的光片、薄片，从微观方面分析成矿阶段、构造变形、金的赋存状态等。

3、综合研究：

（1）在区域成矿地质背景及矿床地质特征研究的基础上，分析了矿区内角砾岩筒的类型、形成机制及其与成矿的关系，探讨了地层、构造、岩浆岩与成矿的关系。

（2）在综合分析成矿控制因素的基础上，对义兴寨金矿床的矿体定位规律、矿脉产出的典型识别标志以及金矿化富集的影响因素进行了综合分析。

（3）在综合研究矿床地质特征以及控矿因素的基础上，对其矿床成因、成矿过程进行了阐述。

（4）圈定和解释构造地球化学异常，运用数理统计方法研究的基础上结合对测区有利地质找矿信息的调研和收集，提出了 6 个有望找矿预测单元，并对各单元的重要性进行了排序，总结了其地质地球化学方面有利的找矿依据和信息。

0.6 完成工作量

在总结分析前人已有资料的基础上，开展了地表和井下与成矿有关的地质现象的重点调研，并结合典型矿脉和控矿构造的解剖，进行了成矿控制因素、矿体定位和富集规律以及矿床成因、成矿过程的研究。在此基础上，在生产开采区的南部-金鸡岭以北地段（1.44km^2）进行了地质、构造地球化学的综合勘查和综合预测研究工作。

主要工作量如下：

1. 野外地质工作：3 个月；
2. 路线地质调查：20 km；
3. 地质观察点：600 个；
4. 1：2000 地质图修测：1.44 km^2；
5. 构造地球化学勘查：0.7 km^2；
6. 样品测试：238 件；
7. 岩矿薄片鉴定：100 件；
8. 野外及室内显微照像：280 张；
9. 扫描电镜：3 个点。

0.7 主要成果与认识

（1）在国内外研究现状方面，对金矿床成因类型划分及其典型特征、成矿预测的基本理论、方法技术以及找矿模型等方面进行了研究综述；

（2）在区域成矿地质背景及矿床地质特征研究的基础上，分析了矿区内角砾岩筒的类型、形成机制及其与成矿的关系，探讨了地层、构造、岩浆岩与成矿关系；

（3）在综合分析成矿控制因素的基础上，对义兴寨金矿床的矿体定位规律、矿脉产出的典型识别标志以及金矿化富集的影响因素进行了综合分析；

（4）在综合研究矿床地质特征以及控矿因素的基础上，对矿床成因和成矿过程

提出了新的看法；

（5）在构造地球化学测量和数理统计分析的基础上，提出测区最佳近矿成矿指示元素组合及对应的高中低温指示元素的组合类型。

（6）根据地质、地球化学、工作成果，综合分析了各类异常的特征，确定了6个新的找矿预测单元，并提出了验证工程的施工顺序。

第一章　区域成矿地质背景

1.1 大地构造位置

按照传统的大地构造区划，义兴寨矿区地处恒山山脉的东段南麓，位于山西陆台五台隆起西北侧与燕山沉降带西南缘两大构造单元相互嵌接的构造岩浆活动带上。从现阶段的地壳活动性质来看，应处地洼发展阶段，属华北地洼区冀晋地穹系山西地穹列恒山地穹（图 1-1）。按照地洼学说观点，可将本区的大地构造演化划分为四个阶段，依次为：前地槽阶段、地槽阶段、地台阶段和地洼阶段。

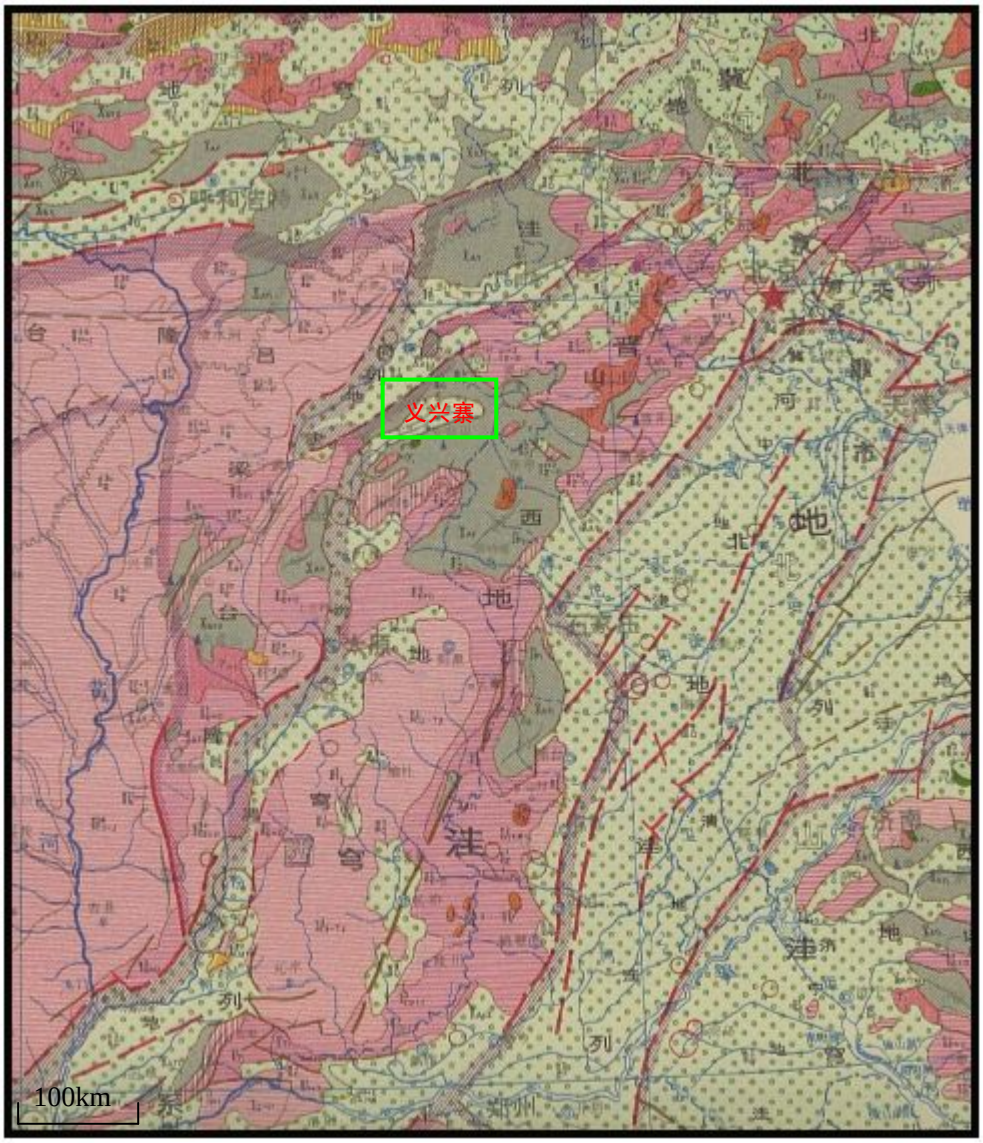


图 1—1　山西义兴寨金矿大地构造位置示意图[101]

太古代为前地槽阶段，形成的构造层以五台群为代表，形成了一套变质程度中等、混合岩化较弱的变粒岩——斜长角闪岩——绿泥石片岩——黑云角闪斜长片麻岩的岩石组合。五台运动造成了前地槽阶段构造层整体褶皱，构造型相似紧闭型褶皱为主，并带来了大量的岩浆侵入活动，伴生有花岗岩侵入体与伟晶岩脉以及酸性——基性的各种火山岩。

地槽阶段主要在早元古代，地壳运动以水平挤压运动为主，区域上产生了北北东向的三个地槽和两个地背斜。自西向东的排列顺序为：五台——吕梁地槽、阜平——沁水地背斜、太行——燕山地槽、河淮地背斜、辽鲁地槽等。本区属于五台——吕梁地槽范畴，在地槽中堆积了一套以滹沱群为代表的陆屑建造及火山岩建造，岩石组合以变质砾岩——变质长石石英砂岩——长石石英岩——白云岩——大理岩以及板岩和千枚岩为主。变质程度以轻微变质为主，局部花岗岩化，形成小范围的混合花岗岩。早元古代末，吕梁运动导致了地槽封闭，在本区形成了北东东向褶皱。早期伴有基性——超基性岩浆侵入，晚期有花岗岩浆侵入活动。

当吕梁期褶皱带遭受剥蚀，渐趋准平原化后，区域上于中晚元古代时转入相对稳定的地台发展阶段（中元古代——三叠纪）。地壳运动以垂直振荡运动为主，沉积了一套岩相和厚度都较稳定的碳酸盐建造，以蓟县系和寒武系产出的灰岩——白云岩——白云质灰岩以及粉砂质白云岩等为代表。此外，还有地台晚期随垂直振荡运动的频繁进行，导致海水时进时退而形成的海陆交互相沉积含煤建造和早二叠世海水退去后在局部的河湖中形成的陆相沉积含煤建造，分别以石炭系的海陆交互相灰岩——砂页岩含煤建造和二叠系的陆相砂页岩含煤建造为典型代表。本区局部有残留的上元古界蓟县系雾迷山组和寒武系下统毛庄—馒头组出露，其余地台阶段的沉积建造未见。

燕山运动开始转入地洼阶段（侏罗纪——今），地壳运动以块断运动为主，区域上形成了一系列切割较深、有一定方向和系统的深大断裂，其中尤以北西向深大断裂最为显著。差异升降反差大，形成了多个相间分布的断陷型次级构造单元，整体上依北东向延伸。沉积建造以陆相砂岩和火山岩为主，局部有陆相含煤建造。伴随着北西向深大断裂的形成，带来了大量的岩浆侵入活动，其所携带的大量的热能、成矿流体以及成矿物质，导致了区域上北西向构造岩浆成矿带的最终形成，是晋东北地区大多数内生矿床形成的主要原因。本区主要表现为北西向深大断裂发育，燕山期岩浆侵入活动强烈，从中酸性——碱性——基性，从深成相——浅成相——超浅成相——次火山岩相——火山岩相均有出露，伴随着岩浆侵入活动形成了一系列的铁、钼、金银以及多金属硫化物矿床（点）。

1.2 区域地质概况

地层由老至新、由北西向南东依次出露有基底岩层五台群木格组、朱家坊组、台子底组变质岩系，盖层仅有局部残留的上元古界蓟县系雾迷山组、寒武系下统毛庄—馒头组以及下第三系繁峙组、第四系松散堆积物。

区域构造基本上可划归为两大类，一类是以五台—吕梁期构造旋回强大挤压应力作用下形成的北东东向褶皱构造为主，经历了多个构造旋回的叠加改造；另一类是以燕山期的块断运动为主，形成了区域性的切割较深的北西向深大断裂。北东东向褶皱构造和北西向深大断裂共同构成了区域性构造的基本骨架，其中北西向深大断裂控制了中生代岩体的产出和构造岩浆成矿带的展布。

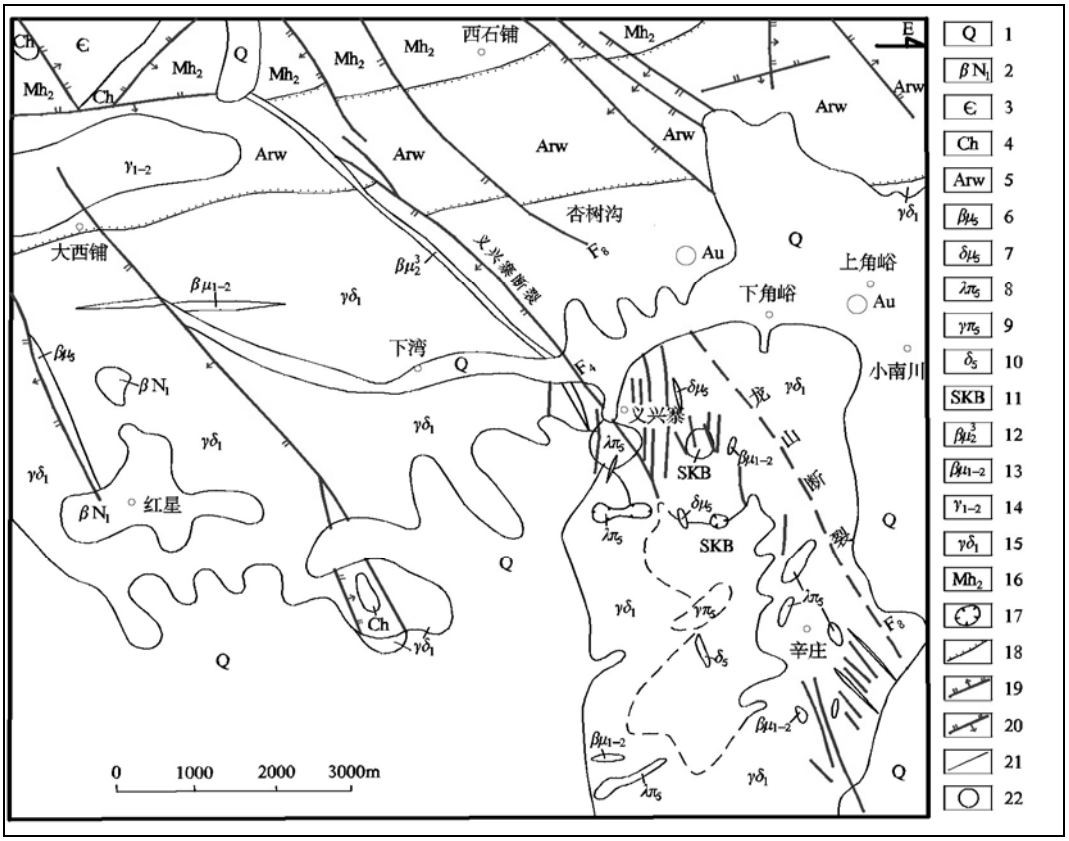


图 1—2 义兴寨金矿区域地质图[101]

1.第四系；2.新近系；3.寒武系；4.长城系；5.五台群；6.辉绿岩脉；7.闪长玢岩脉；8.浅成相酸性岩；9.似斑状花岗岩；10.孙家庄闪长杂岩体；11.矽卡岩化隐爆角砾岩；12.变辉绿岩；13.变基性岩；14.花岗岩；15.义兴寨变闪长岩；16.前庄旺上杂岩；17.隐爆角砾岩筒；18.不整合线；19.正断层；20.逆断层；21.含金石英脉；22.金矿点

区域内有前五台期、五台期、吕梁期、燕山期和喜山期岩浆岩，侵入相、次火山岩相以及喷出相均有出露，产出多以浅层—超浅层的脉状、不规则状为主，其中燕山期岩浆活动与本区成矿关系最为密切，主要由一套浅成相中酸性闪长杂岩、超浅成相或次火山岩相酸性岩以及衍生分异的酸、中、基性脉岩组成（见图 1-2）。

1.3 构造岩浆活动

中生代太平洋板块向欧亚大陆俯冲，在我国东部地区造成了广泛的构造岩浆活动，本区正好处于燕山－太行山强烈活动带之中，构造岩浆活动尤为明显，广泛的构造隆起和坳陷，断陷和抬升以及与之相伴的岩浆活动使太古宙基底受到了强烈的改造。

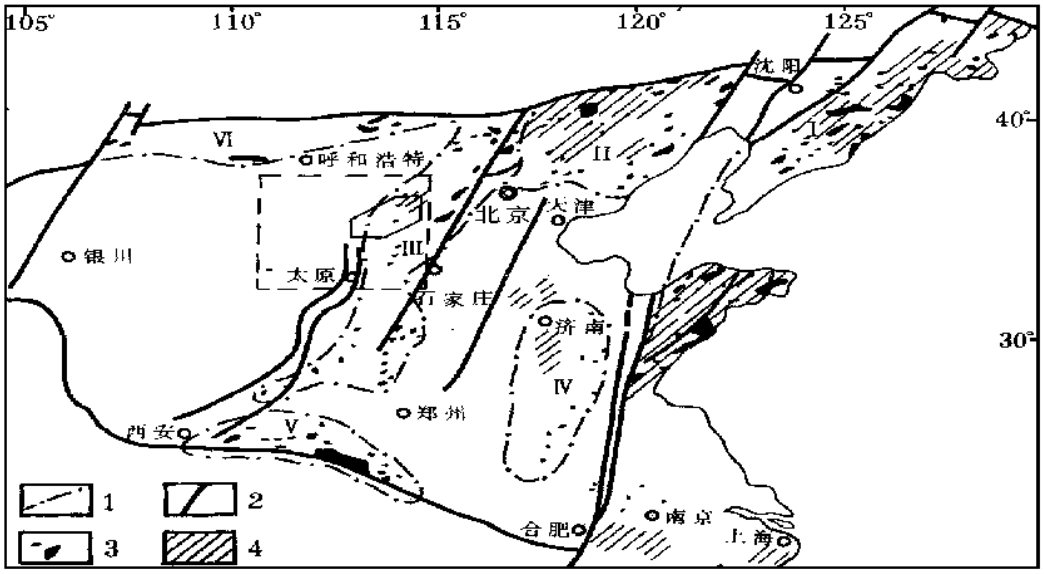


图 1-3 华北地区燕山期岩浆活动分布示意图(据田永清等，1998[14])

1－岩带界线；2-岩石圈断裂；3-深成岩体；4-火山岩区

在基底构造的控制下，在以钙碱性系列火山喷溢为主要形式的岩浆活动的分布上，表现为南北成带东西分异；而各类深成岩浆活动，其分布则为东西成带南北分异特征（见图 1-3）。

本区则位于太行山深成岩带与燕辽火山-深成岩带的交汇处，构成了五台山-恒山中生代岩浆活动的地区性特点。

1.3.1 构造特征

本区中生代的构造特征主要表现为宽缓的褶皱和断裂作用，尤以后者为主，广泛发育了纵横交错的断裂系统。据野外地质调查和遥感图象解译，区内的断裂系统主要有 3 组(图 1-4)：①NEE 向，走向 60°～70°，基本与滹沱河断陷盆地平行，在其南北两侧展布，贯通性强，中生代具扭压性质；②NNW 向，在本区发育最强，延伸方向 325°～335°，基本与断陷盆地的东西两缘平行，延伸几公里至上百公里，中生代呈张扭性；③NNE 向，走向 18°～35°，延长数百公里，跨出区外，是区域上最重要的一组，具扭压性质。此外，本区还有 NWW

向、近 N-S 向、近 E-W 向 3 组断裂。上述断裂系统相互交叉、复合、利用、截接形成了本区中生代棋盘格子状的构造格局。

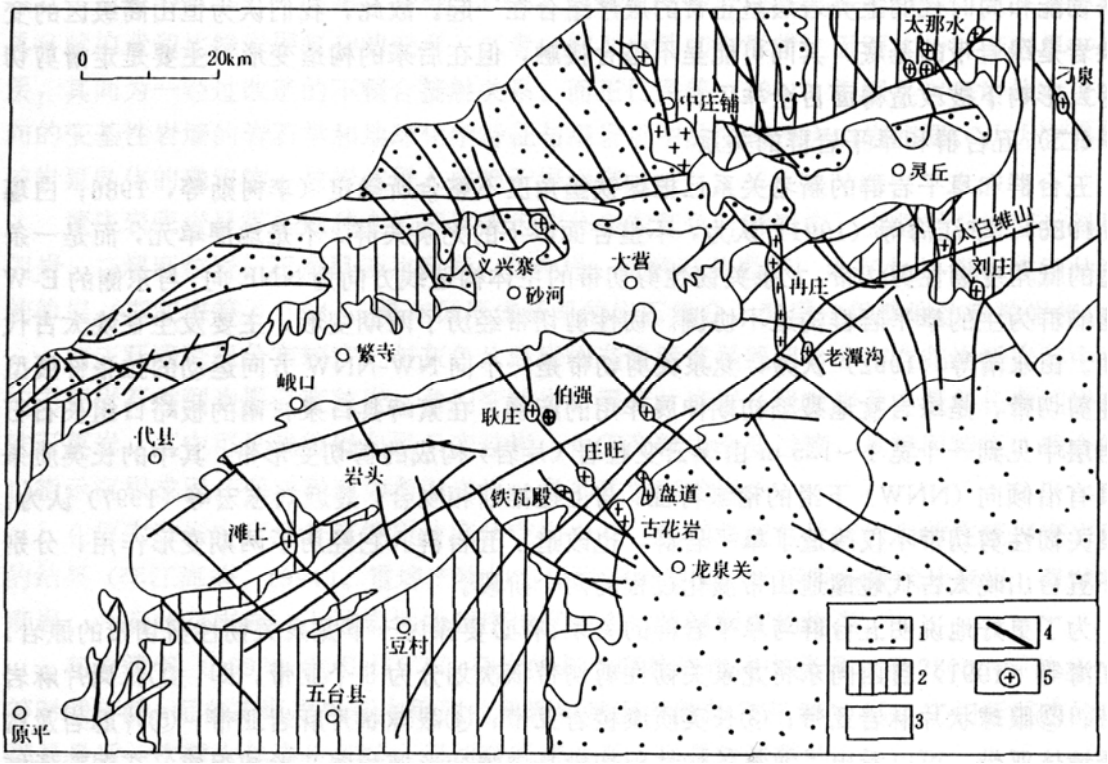


图 1-4 恒山一五台山区燕山期岩浆岩及断裂系统分布图(据沈保丰等，1994[82])

1-高级变质区; 2-后太古宙盖层; 3-花岗岩-绿岩带; 4-断裂构造; 5-中生代岩浆岩

1.3.2 岩浆岩体的空间分布

如前所述，五台山-恒山地区中生代的岩浆活动既具有燕辽岩带的火山作用特点，又有太行山岩带深成侵入作用的特征，构成两个岩浆活动系列-火山岩石系列和深成岩石系列，前者主要分布在本区北东部的火山机构中，主要由火山岩、次火山岩及相关的浅成岩石组成；后者在整个区域均有分布，多数岩体具南北或北东-南西向延长特点，主要是一些酸性深成岩体（见图 1-5)。

区内中生代岩浆活动甚为频繁，尤其在中部和东北部发育最多。岩体的产出一般都受两组以上断裂体系交叉部位的控制，特别是 NNW 向断裂对岩体的控制最为明显。宏观上岩体呈串珠状沿断裂带线状排列；岩体多是椭圆状，长轴多与 NNW 向断裂一致。沿 NNW 向主干断裂呈近等距排列展布，可划分为 6 个条带（图 1-5)，自 NE 往 SW 依次为：

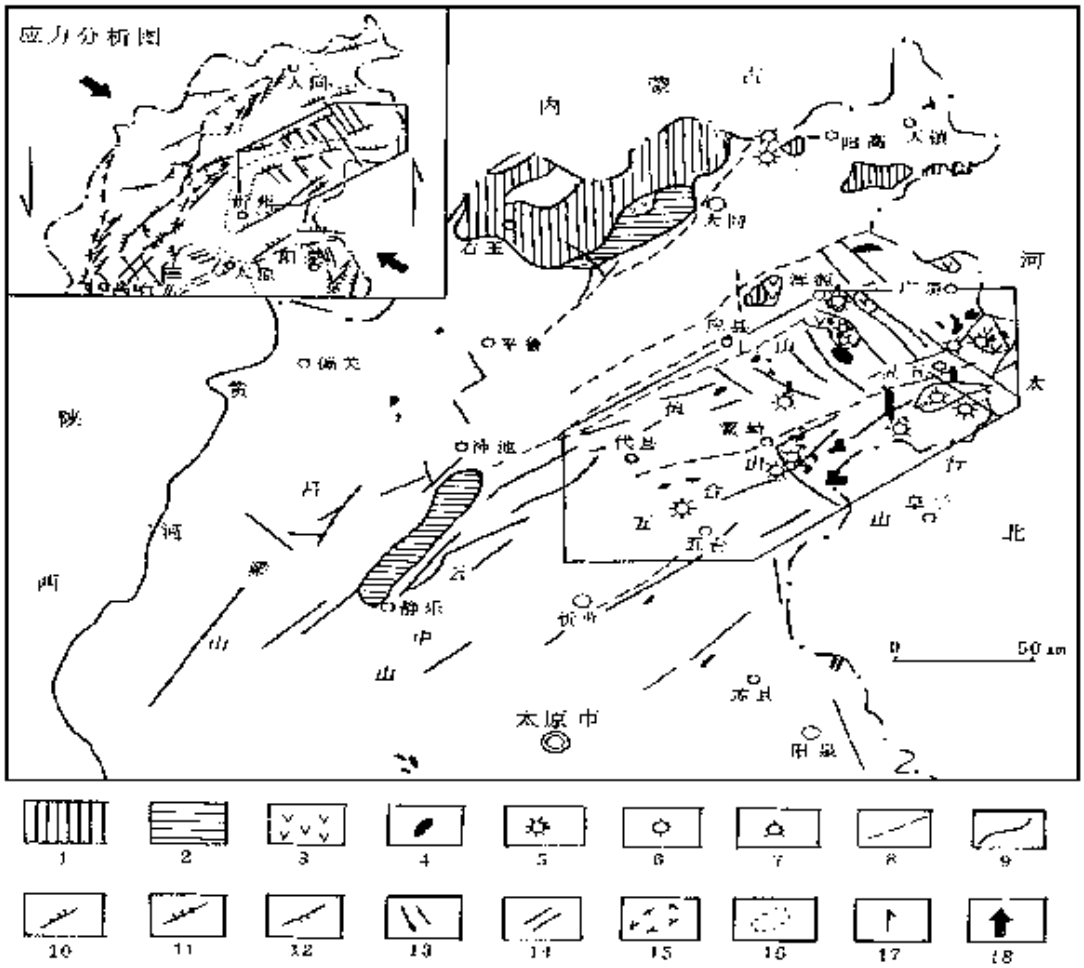


图 1-5 五台山-恒山地区中生代构造-岩浆活动及其应力状况图(据田永清等，1998[82])

1-白垩系;2-侏罗系;3-中生代火山岩;4-中生代侵入岩;5-火山颈;6-可能的火山颈;7-爆发角砾岩;8-山前新断裂;9-长期发育的断裂;10-冲断层;11-压性破碎带;12-张性断裂;13-张剪性断裂;14-压剪性断裂;15-构造盆地;16-新断陷;17-剪应力方向;18-主压应力方向

1、刁泉-太那水带，分布有刁泉、太那水、白北堡等十余个小岩体和爆破角砾岩筒。

2、刘庄-太白维山带，分布有刘庄、太白维山等岩体，太白维山岩体有规模较大的喷出相。

3、老潭沟-冉庄带，分布有老潭沟、冉庄等岩体，该带在区域上规模很大，北部构成了恒山隆起和灵丘-广灵沉积盆地之间的边界。

4、义兴寨带，位于恒山地区，向北西延伸到三条岭、长城沟一带，产有义兴寨孙庄岩体。

5、古花岩-伯强带，位于本区中部，是构造岩浆活动最强烈的带之一，分布有众多的小岩体、岩株和爆破角砾岩筒，主要有古花岩、铁瓦殿、庄旺、后峪、耿庄、茶铺等岩体。

6、滩上-王家会带，该带岩浆活动较弱，主要产有滩上岩体。

此外，NEE 和 NNE 向构造对岩体的控制也较明显。按北东东向断裂走向排列，可将岩浆岩体划分为铁瓦殿-古花岩-小浪门带；滩上-伯强-冉庄-太白维山带；义兴寨-太那水带。

1.4 区域金矿床类型

山西五台山-恒山地区是我国重要的金矿床密集区之一，区内已知大型金矿床 1 个，中型金矿床 2 个，小型金(银)矿床 11 个，金矿化点 101 个，砂金矿(化)点 16 个，占全省探明金储量的 80%。本区大多数金矿床的空间分布、成矿时代、演化及成因与绿岩带有着密切的关系。

绿岩带型金矿床是我国和世界重要的金矿床类型。它是指在花岗岩-绿岩带的形成、演化过程中，在不同阶段，将富集在地幔或下地壳中的成矿元素带到地壳上部[83]，并将分散的金在一定的场所进行聚集的各种地质作用下形成的一系列金矿床的总称[84]。

依据金矿床的物质来源和成矿的地质条件，本区绿岩带型金矿床划分为同构造晚期的初生型和构造期后的再生型金矿床两类[85]。依据矿体与围岩产状的关系，本区同构造晚期初生型金矿床再细分为层控型(或浸染型、细脉浸染型)金矿床和脉型金矿床两个亚类。根据容矿围岩的岩性差异，层控型金矿床又可分为以 BIF 为容矿围岩和以变质火山沉积岩为容矿围岩。构造期后再生型金矿床可分为变质砾岩型和与次火山岩有关的热液脉型。

第二章 矿床地质特征

2.1 矿区位置、交通、自然地理与经济概况

义兴寨金矿位于山西省繁峙县城北东 65°方向直距 35km 处，行政隶属繁峙县砂河镇。矿区南距京原铁路砂河站（五台山站）和 108 国道均为直距 11km，运距 15km，有柏油公路相连接，交通十分方便（见图 2-1）。工作区中心经纬度：东经 113°36′15″，北纬 39°21′45″，矿区涉及 1/5 万图幅号为 J50E004023。

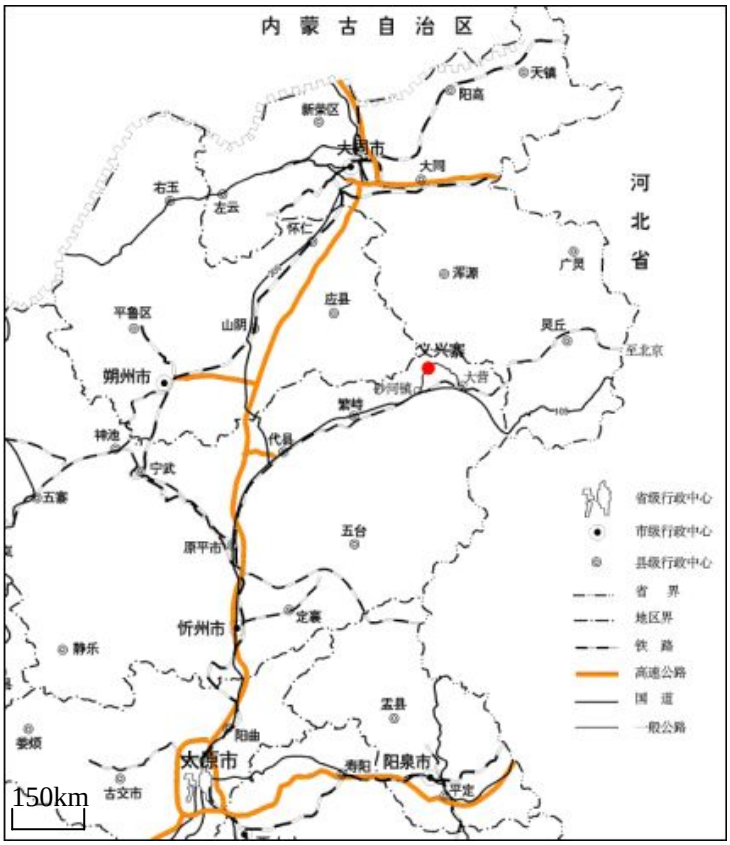


图 2-1 交通位置图

矿区地处晋北腹地，恒山山脉南麓，地形北高南低，北为恒山主脉分水岭，南为滹沱河谷地北侧丘陵缓坡区。矿区所在区域内海拔标高在 1900m 以下，相对高差为 750m。矿区范围内海拔标高在 1230—1474m，相对高差一般小于 250m，属中低山区。区内沟壑纵横，黄土冲沟发育，山间流水不断。

本区属于大陆性干旱—半干旱气候，四季分明，春季干旱多风，夏季雨量集中，秋季温和，冬季少雪寒冷。年平均气温 6.5℃，极端最高气温 37.2℃，最低气温-28.5℃。全年无霜期 150 天左右，冻土期为十一月中旬到次年三月底，冻土深度一般在 1m 左右，最深达 1.25m。年平均降水量为 389.1mm，降水集中

在七、八两个月，占全年降水量的 50%±；年平均蒸发量 1964.2mm。区内主导风向多为西北风，年平均风速为 3.4m/s，冬春两季较大，平均为 3.9m/s。区内经济以农业为主，兼少量林业、牧业，农作物有莜麦、土豆、谷子、高粱、玉米、小麦、糜子等。林业、畜牧业在县农业生产中亦占重要地位，主要树种有落叶松、杉、油松、杨、桦树等。主要畜牧有羊、猪、牛、驴等。此外，山区丘陵地带尚出产各种中草药材。矿区周边民营矿山企业比较发达。

矿山内已建成日处理矿石量 500t 的选矿厂，电力可满足区内生产、生活的需求，矿区工业用水为矿坑水，可满足生产需要。

2.2 矿区地质

2.2.1 地层

矿区内地层单一（图 2-2），主要为台子底组训草段，岩性为黑云角闪斜长片麻岩，局部夹浅粒岩薄层。地层总体产状与片麻理方向基本一致走向 50-80°，倾向南东，局部北西，倾角 30-80°，一般为 50-60°，呈北陡南缓趋势。

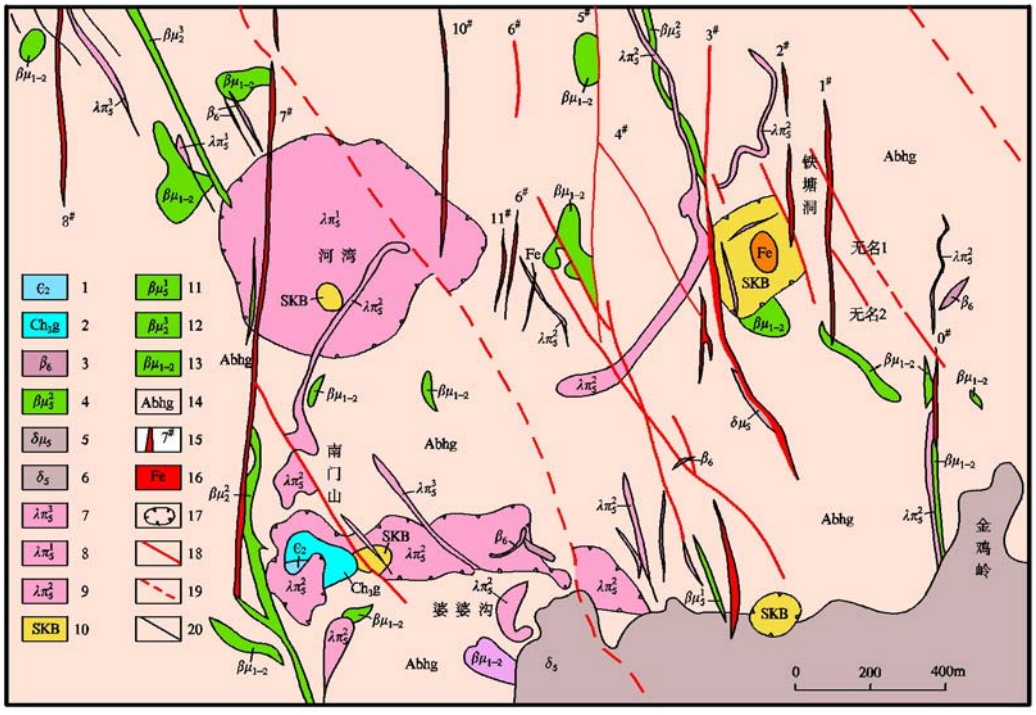


图 2-2 义兴寨金矿地质简图[101]

1-寒武系；2-长城系；3-玄武岩；4-辉绿玢岩；5-闪长玢岩；6-闪长岩(孙家庄杂岩体)；7-浅成相酸性岩；8-石英斑岩；9-长石石英斑岩；10-矽卡化隐爆角砾岩；11、12、13-辉绿岩；14-斜长片麻岩；15-金矿脉及编号；16-磁铁矿体；17-隐爆角砾岩筒；18、19-断裂；20-地质界线

2.2.2 构造

矿区位于恒山大西沟门-宫儿-白银寺北东东向复北斜（区外）南东翼，总体呈一单斜构造。片麻理产状一般倾向南东，倾角 40-80°，仅局部产状稍有起伏或倒转，形成一些与主背斜轴向一致的北东东向次级背、向斜。其主要分布于杏树沟村南一带。

义兴寨矿区位于同走向的义兴寨脆性断裂带和龙山脆性断裂带之间。这些断裂构造有长期的活动历史。中条期是发育的鼎盛时期，控制了成群(带)的西向变辉绿岩(脉)。至燕山期又进一步成生北西向横张断裂的次级派生构造-近南北向压扭性断裂为赋矿构造系统，走向 355°，破碎带宽 3m 至数十米，其中有透镜状角砾岩和断层泥，为良好的容矿系统。

断裂构造主要为北西向张扭性断裂。该组断裂构成区域构造的基本骨架。其主要由南、北一对力偶顺时针扭动作用下形成的主张结构面。北东东向主压结构面区域不甚明显，见有继承、改造老基底中的北东东向压性结构面（如朱家坊村北东东向压性断裂），与之相伴的尚有北东、北西西向破碎结构面。

北西向断裂以尧沟-义兴寨断裂及牛家川-杏树沟-龙山断裂规模最大，断续延长数千米至十余千米，走向一般 305-335°，倾向南西，倾角 65-85°，沿走向略呈“S”型，其破碎带宽一般数米至十余米，由大小不一杂乱分布的棱角状、次棱角状构造角砾组成，普遍具高岭土化、褐铁矿化、局部具绢云母化、硅化。在构造带内，多发育后期扭裂面或透镜状断层泥，显示断裂以先张后扭为主的活动迹象，断层水平断距数米至数十米不等，最大水平断距达 500m。该组断裂旁侧多发育同向、同序次的次级断裂或低序次的“入”字型断裂，断裂活动时间较长但主要发育于燕山期。

2.2.3 岩浆岩

矿区内岩浆岩为五台-吕梁期、燕山期和喜山期岩浆岩。

五台-吕梁期岩浆岩主要为分布于老变质岩中的斜长角闪岩、变质辉绿岩、花岗伟晶岩、长英质细晶岩。

燕山期岩浆岩为辉绿岩脉、闪长岩杂岩岩体、花岗斑岩脉、酸性次火山岩和与酸性次火山岩相伴的次火山岩脉。其中酸性火山岩在矿区内分布较为广泛，且与本区金、多金属成矿关系密切，其主要分布在矿区中部，由河湾、铁塘硐、南门山、金鸡岭四个角砾岩筒组成。其中河湾角砾岩筒火山颈主要分布于义兴寨村东-河床内，为一不规则筒状体，该火山颈被北西向张扭性断裂顺时针扭错。大部分为长石石英斑岩岩栓所充填，东南部可见捕获残留的蚀变火山角砾岩。铁塘硐角砾岩位于矿区东部铁塘硐山，主要由蚀变角砾岩组成，具有多次破碎，

反复蚀变（由高温至低温），多期热液矿化叠加现象。南门山角砾岩筒火山颈位于矿区西南部南门山南侧，主要由次火山岩岩栓-早期长石石英斑岩及中期石英斑岩-少量蚀变火山角砾岩与蚀变围岩岩块组成。且蚀变种类繁杂，有矽卡岩化、阳起石化、透闪石化、绿帘石化、绿泥石化、碳酸盐化等，局部形成热液交代型铁矿及窝状岩金矿，Au 品位最高可达 15×10^{-6} 以上。金鸡岭角砾岩筒位于铁塘硐角砾岩筒 176° 方向约 1km 处。地质特征及岩性基本同铁塘硐角砾岩筒。四个角砾岩筒是矿区热动力及成矿物质的主要来源。

喜山期岩浆岩主要为（橄榄）玄武岩脉分布于矿区南东部，沿裂隙贯入，具尖灭等距再现现象，规模较小。

2.3 矿床地质特征

在义兴寨矿区，已知有 15 条规模较大的含金构造蚀变岩脉带（图 2-2），自东向西依次为 m0、0、无名 1 号、无名 2 号、1 号、m1 号、2 号、3 号、m3、4 号、5 号、6 号、10 号，其规模、产状见表 2-1。其中以 3、5、7 号脉带规模最大。

表 2-1 主要含金石英脉带统计表

脉带编号	产状要素			已知脉带总长（m）
	总体走向	倾向	倾角	
m0	325°	SW	73°	区内 1600
0	356°	SWW 局部 NEE	72°-85°	1000
无名 1	320°-340°	SW	75°-80°	700
无名 2	320°-340°	SW	80°-85°	150-200
1	357°	SWW	80°-85°	650
m1	310°-330°	SW	80°	不详
2	357°	SWW	80°-90°	420
3	355°	NEE 局部 SWW	89°-90°	560
m3	355°	SWW	80°-85°	>500
4	325°	SW	80°-85°	300
5	355°-357°	NEE-SWW	80°-89°	2100
6	356°	SWW	78°-85°	1500
10	356°	SWW	85°-87°	1300

含金石英脉带走向主要为北北西 355°，次为北西 325°（m1、无名 1、无名 2、4 号脉带）。主要分布于河湾火山颈-铁塘硐角砾岩筒间及其附近，北北西走向的脉带总体呈一向北行的“入”字型左行雁行排列，5 号脉带似领头雁。

2.3.1 含金石英脉带及其金矿体特征

主要含金石英脉带及其内部产出的金矿体的地质特征简述如下。

m0 号脉：位于矿区东侧，根据其所处位置及产状推测为受北西向 F8 大断裂控制。该脉带为隐伏脉带，区内隐伏长 1600m，以往均为民采揭露，据民采情况调查及近年来矿山生产探矿取得的地质资料，脉带走向 325°，倾向南西，倾角 73°。带内民采普遍，主要集中在 X=4359300-4358920 约 450m 长的地表至 1150m 标高(约 200-300m 垂深)范围内，矿体厚度 1.2-6m，Au 品位 4.65-30.0×10^{-6}；富矿段矿体厚 0.5-2.0m，品位 10-30×10^{-6}，向两侧及深部均有延伸的趋势。

0 号脉：位于矿区东侧，脉带走向 356°，倾向南西西，局部北东东，倾角 72-85°，脉带总长 1000m，厚 1.35m，Au 品位 0.45×10^{-6}，地表有明显的矿化露头。

1 号脉：脉带走向 357°，倾向南西西，倾角 80-85°，脉带总长 650m，地表有明显的矿化露头，宽 1-3m，矿体长 75m，平均厚度 0.47m，最大垂深 75m，Au 平均品位 14.62×10^{-6}。

m1 号脉：脉带走向 310°-330°，倾向南西，倾角 80°，脉带总长不详，为坑道开拓过程中新发现的矿脉，矿山 2004-2005 年施工的 1070m 坑道工程揭露了该矿脉，揭露点脉带产状 230°∠80°，脉带厚 1.90m，Au 品位 4.84×10^{-6}。

2 号脉：位于 1 号脉西 100 米，脉带走向 357°，倾向南西西，倾角 80°-90°，脉带总长 420m，宽 3-5m，据民采情况调查，Au 品位<5.0×10^{-6}，厚度 0.8-1m。

3 号脉：位于铁塘硐角砾岩筒西部边缘，脉带走向 355°，倾向北东东，局部南西西，倾角 80°-90°，脉带总长 560m，宽 1-2m，矿体长 138m，控制延深 400m，矿体厚度 0.3-0.9m，最大 2.25m，品位中间富，上下贫，Au 平均品位 11.54×10^{-6}，倾角上陡下缓，矿体以 60°-65°向南侧伏。

m3 号脉：位于 3、5 号脉之间，与 5 号脉带近平行产出，脉带走向 355°，沿走向稍有弯曲，产状近乎直立，脉带总长大于 500m，地表未见出露，矿山生产坑道 1230m、1190m、1150m、1110m、1070m 标高均有揭露，脉带由多金属硫化物石英脉及断层泥组成，矿体呈薄饼状、脉状分布于 X=4359250-4358750 之间 800-1300m 标高范围内，矿体厚 0.1-1.1m，Au 品位变化较大，变化范围为 1.22-343.90×10^{-6}，平均品位 9.15×10^{-6}。

4 号脉：位于矿区中部，为 NW 向脉带。走向 325°，1200m 标高以上，倾向 45°-71°，倾角 80°-85°；1200m 标高以下，倾向 200°-230°，倾角 85°±，脉带总长 300 米，延深大于 500m，宽 1m±。已往地质勘查，带内共发现 3 条小矿体，以 4-Ⅱ号为主，矿体厚 0.65-2.75m，平均 0.92m；Au 品位 8.01-20.67

$\times10^{-6}$，平均 15.16$\times10^{-6}$。伴生元素有 Ag、Cu、Pb、Zn、S，Ag 品位 72.24-165.04$\times10^{-6}$；Cu 1.59-4.88$\times10^{-2}$；Pb 0.02-0.11$\times10^{-2}$，Zn 0.05-0.27$\times10^{-2}$；S 6.00-30.10$\times10^{-2}$。

5 号脉：位于矿区中部，为矿区内出露的最大的含矿脉带。走向 355°-357°，沿走向稍有弯曲，总体倾向北东东，倾角 80°-89°，中部变陡，下部局部倾向南西西，整体上呈一舒缓波状起伏的反“S”型，倾角变化一般不超过 5°。脉带地表出露长度达 2100m，宽 0.5-5m。脉带主要由黄铁矿化含金石英脉及构造蚀变岩组成，含少量多金属硫化物。带内共发现 7 条金矿体，其中 5-Ⅰ号矿体规模最大，其它均为从属小矿体。5-Ⅰ号矿体在脉带内沿走向倾向连续分布，呈似板状，分布在 36 线至 11 线南 150m 之间，1355-410m 标高之间（410m 标高以下未有工程控制，推测仍有延伸）。沿走向控制 1530m，沿倾向控制 945m；矿体厚 0.05-2.99m，平均厚度 0.73m。厚度变化系数 56%，属厚度稳定型；矿体品位 1.09$\times10^{-6}$至 282.18$\times10^{-6}$，Au 平均品位 14.35$\times10^{-6}$，品位变化系数 113%±，属有用组份分布较均匀型。矿体伴生元素有 Ag、Cu、Pb、Zn、S，Ag 品位一般在 16.29-62.92$\times10^{-6}$，平均 25.88$\times10^{-6}$；Cu 平均品位 0.08$\times10^{-2}$；Pb 平均品位 0.08$\times10^{-2}$；Zn 平均品位 0.13$\times10^{-2}$；S 平均品位 5.36$\times10^{-2}$。

6 号脉：位于 5 号脉带西 175-220m 处。与 5 号脉带走向近平行产出，脉带走向 356°，沿走向稍有弯曲，倾向南西西，倾角 78°-85°。该脉带地表出露连续性较差，断续出露总长 1500m，宽 0.8-2.0m。脉带由含多金属硫化物石英脉及构造蚀变岩等组成。带内金矿体以 6-Ⅰ号矿体为主，呈薄饼状、脉状，分布在 11-22 线的 1320-520m 标高之间（520m 标高以下未有工程控制，推测仍有延伸），沿走向控制 1530m，沿倾向控制 800m；矿体厚 0.10-1.37m，平均厚度 0.59m；厚度变化系数 55%，属于厚度稳定型；矿体品位 2.05-208.15$\times10^{-6}$，Au 平均品位 15.65$\times10^{-6}$，品位变化系数 80%±，属有用组份分布均匀-较均匀型。矿体伴生元素有 Ag、Cu、Pb、Zn、S，平均品位：Ag 62.51$\times10^{-6}$；Cu 0.34$\times10^{-2}$；Pb 0.18$\times10^{-2}$；Zn 0.30$\times10^{-2}$；S 5.15$\times10^{-2}$。

10 号脉：位于矿区西部 6 号脉带以西，脉带走向 356°，倾向南西西，倾角 85°-87°，地表断续出露长 1300m，宽 0.4-1.40m，带内共发现 2 条金矿体，以 10-Ⅰ号矿体为主，矿体长 52m，延深 50m±，厚 0.38-0.95m，Au 品位 2.81-14.13$\times10^{-6}$，多小于 5.0$\times10^{-6}$。

2.3.2 典型矿脉解剖及类型划分

含金矿脉按石英脉产出形态和规模可分为单脉型、复脉型和网脉型三种。

单脉型是矿区的主要矿脉，主要指北北西断裂带内产出的规模较大的多金

属硫化物石英脉，分布在脉带中部和垂深下部，矿体规模不一，品位 5×10^{-6}-20×10^{-6}，石英脉单脉长 10-100m，垂深数百米，多呈平行交叉和雁行排列，具分枝复合、尖灭再现特征，在 0、1、4、5 号脉带中较为常见。

复脉型由断裂带内平行产出的硫化物石英细脉与构造蚀变岩石组成，石英脉单脉长 1-2m，宽 3-5cm±，单脉间间距一般几毫米至数厘米，间距疏密不等，脉与脉之间为构造蚀变岩石。该类型主要在各主要含金脉带的局部地段断续发育（见图 2－3）。

网脉型：多分布于上述两类矿脉边部、角砾岩筒矿化蚀变带以及较大规模的构造蚀变岩中，由网脉状石英细脉组成，细脉长＜1m，宽 1-2mm。规模小，品位低，局部发育连续性差，开采价值不大（见图 2－4）。

含金矿脉按控矿构造的性质、特征、产状及金矿体的成因类型可分为三大类：①构造蚀变岩型金矿：受较大规模北西向张扭性断裂构造控制产出。②多金属硫化物石英脉型金矿受北北西向压-张扭性断裂构造控制产出。③受热液角砾岩筒控制产出的不规则状隐爆角砾岩型金矿。三者在控矿构造、蚀变分带、矿化类型以及产出特征方面等表现出明显的差异，体现了矿区范围内主要的金矿化类型的本质特征。

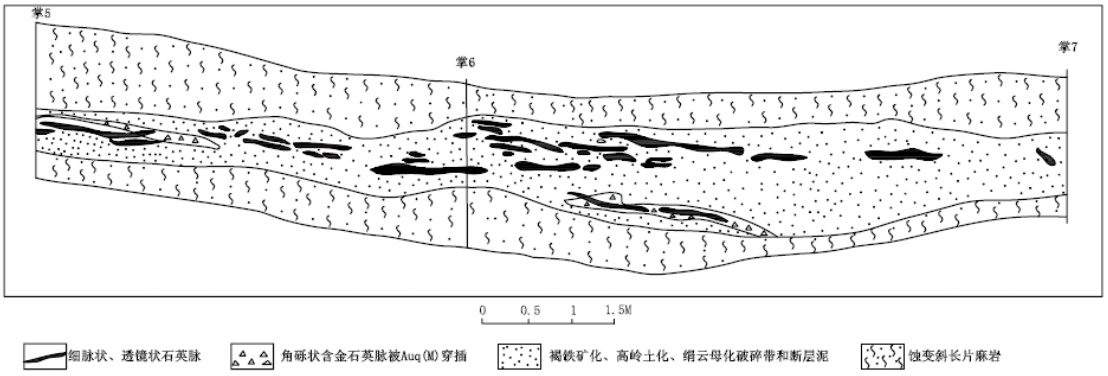


图 2－3 3 号含金石英脉带中石英脉分布素描图

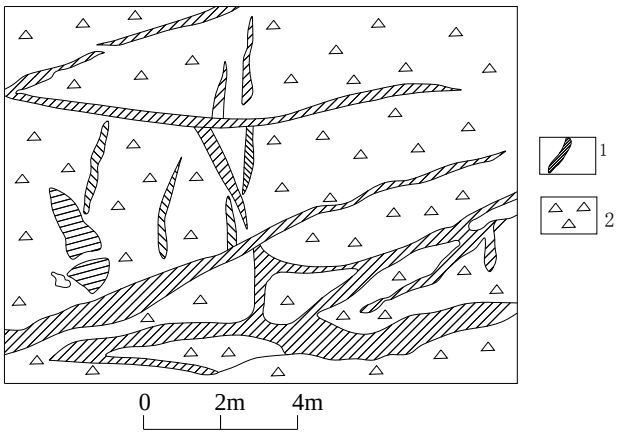


图 2－4 3# 矿体硅化蚀变岩素描图

1.含金石英脉 2.碎裂岩化蚀变岩

2.2.2.1 构造蚀变岩型金矿

以 m0#脉为代表，产于较大规模的北西向张扭性 F8 大断裂中。脉带走向 325°，倾向南西，倾角 73°，含金矿脉在其中局部富集，连续性较差。围岩蚀变以钾化（赤铁矿化）（照片 1）、硅化、绢云母化（照片 2、照片 3）、黄铁矿化、高岭土化、绿泥石化（照片 4）为主。矿化以金及多金属硫化物为主，含金硫化物石英脉受断裂带结构面或微裂隙控制（照片 5、照片 6），脉壁平直，与两侧岩石界线清晰，成矿方式以充填成矿为主。矿化与蚀变均具有明显的分带性。蚀变岩石的分带性：片麻岩--钾化（赤铁矿化）绢云母化片麻岩--含金硫化物石英脉--构造蚀变硅化角砾岩--含金硅化、绢云母化、黄铁矿化蚀变岩--高岭土化、绿泥石化蚀变岩（照片 4）；

蚀变矿物的分带性：钾长石--绢云母--石英--石英、绢云母、黄铁矿--高岭土、绿泥石；

矿化的分带性：靠近钾化片麻岩位于断裂带下部结构面附近富金斑铜矿、黄铜矿、黄铁矿石英脉-断裂带中部紧挨构造蚀变硅化角砾岩的含金方铅矿、闪锌矿石英脉--断裂带上部粘土化蚀变岩中网脉状含金石英脉（照片 4）。

从以上分带规律可以看出，蚀变矿物的形成显现了张性构造带内含矿热液大量聚集，强烈交代，并卸载产生了一系列热液蚀变矿物；矿石矿物的形成显示了明显的后期充填成矿的特征；表明含矿热液从早期到晚期，从高温到中低温，从交代含矿流体到充填成矿流体的变化规律。

2.2.2.2 石英脉型金矿

以 5 号、6 号和 m3 号矿脉为代表，产于次一级别的北北西向压-张扭性断裂裂隙带中。脉带走向 355°-357°，总体倾向南西西，局部北东东，有一定的舒缓波状起伏，倾角常大于 80°，近于直立。含金矿脉在其中连续性相对较好，延长较大，可达 1000m 以上，是矿区范围内最主要的一组矿化类型。围岩蚀变以钾化（赤铁矿化）、硅化、绢云母化、黄铁矿化、高岭土化、碳酸盐化为主（照片 7、照片 8）；矿化以金及多金属硫化物为主。含金硫化物石英脉受断裂裂隙带控制，脉壁平直，与两侧岩石呈突变过渡关系，成矿方式明显以充填成矿为主（照片 9、照片 10）。矿化与蚀变具一定的分带性，分带性较为简单（照片 11）。

m3 号和 5 号矿脉以细脉浸染状分布的斑铜矿黄铜矿黄铁矿含金石英脉为主（照片 12），分布于矿脉的中部，由多条含金石英脉组成，局部有分支复合现象；矿脉的边部发育有宽度不大，由热力变质引起的褪色化带和网脉状的方解石细脉带，局部地段有充填特征明显的铅锌硫化物细脉和黄铁矿细脉穿插；高岭土化黄铁绢英岩主要呈不规则状分布于矿脉的中部和边部（照片 13），围岩主要为钾化（赤铁矿化）片麻岩。

脉带内石英结晶分异程度良好，纯度和透明度较好，常见晶芽状和梳状石英大颗粒（照片 14），显现了充填矿化的典型特征；铜矿物多且含量较高，以孔雀石、斑铜矿和黄铜矿为主，显示成矿温度以中温为主。接触界线清晰、充填特征明显、分异完全的金属硫化物，结晶程度良好的石英以及钾化（赤铁矿化），铜明显富集等现象与金富集表现出明显的正相关。

6 号矿脉以细脉状分布的方铅矿、闪锌矿含金石英脉为主，分布于近南北向矿脉带的中部。含金铅锌石英矿脉与片麻岩接触界线平直清晰，充填特征明显（照片 15），局部有分支复合现象。矿脉的边部发育有宽度不大、由热力变质引起的褪色化带和网脉状的方解石细脉带，局部地段有黄铁矿细脉穿插，与方铅矿、闪锌矿硫化物细脉平行产出，构成一定的分带性（照片 16）。高岭土化黄铁绢英岩主要呈不规则状分布于矿脉的中部和边部，围岩主要为钾化（赤铁矿化）片麻岩。

脉带内金属矿物以方铅矿、闪锌矿为主，旁侧伴随有较多的方解石脉，显示成矿温度以中低温为主；石英结晶程度、金属硫化物的分异完整程度以及金矿化程度均明显不如 5 号矿脉，显示了矿化强度严格受成矿流体分异程度控制的微观规律。

2.2.2.3 隐爆角砾岩型金矿

以 t-Ⅰ和 t-Ⅱ号矿体为代表，产于铁塘硐热液隐爆角砾岩筒中，受角砾岩筒边部的环形构造控制明显。t-Ⅰ号矿体位于角砾岩筒东侧，走向 85°，倾角 83°，并向北侧伏，长度 83m，平均厚度 2.50m，延深 109.5m，平均品位 8.46×10^{-6}；t-Ⅱ号矿体呈新月型，位于角砾岩筒北侧，走向近东西，倾向南，倾角 80°-85°，矿体控制长度 210m，最大垂深 353m，平均厚度 4.13m，平均品位 7.74×10^{-6}。矿体主要由含黄铁矿的方解石石英脉组成，局部也产出有厚度不大、富铜金的斑铜矿-黄铜矿-黄铁矿含金方解石石英脉，脉体中心由块状斑铜矿、黄铜矿和黄铁矿组成，脉壁一侧为方解石石英细脉，另一侧为石英细脉（照片 17）。

围岩主要为矽卡岩化隐爆角砾岩和残留灰岩（照片 18），矽卡岩化隐爆角砾岩中常见较多呈浸染状分布、自形程度较好的镜铁矿（照片 20、照片 21），残留灰岩角砾大多以不规则团块分布于隐爆角砾岩中，也有以大块较纯净的灰岩存在于角砾岩筒中，旁侧常有方解石细脉和晶洞发育（照片 19、照片 22）。蚀变以石榴子石、透辉石和绿帘石矽卡岩化为主，其次也有碳酸盐化、绿泥石化等。矿体主要以不同规模的含金硫化物方解石石英脉状体穿插于角砾状矽卡岩（照片 23）中，两者之间界线清晰、接触界面平直，显示了矿质的沉淀是在早期高温交代岩石-矽卡岩化隐爆角砾岩形成以后，在中低温条件下，沿角砾岩筒内部发育的断裂裂隙充填成。

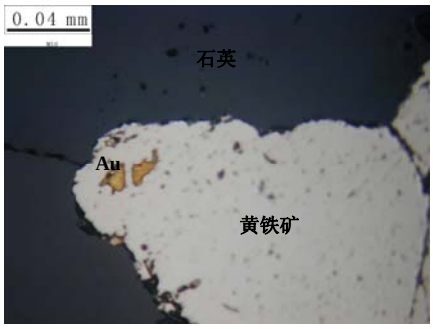
2.3.3 矿石特征

矿石类型比较简单，可分为两种主要类型：富金多金属硫化物石英脉型矿石和构造蚀变岩型矿石。矿石中主要金属矿物有银金矿、自然金、角银矿、含银方铅矿、黄铁矿、黄铜矿、斑铜矿、镜铁矿、闪锌矿、方铅矿等；次要金属矿物有砷黝铜矿、自然铋、辉碲铋矿、硫银铋矿、铅锰矿、毒砂、辉砷镍矿、辉银矿、辉钼矿、金银矿、自然银、辉铜矿、辉铋矿、兰铜矿、辉铋铅矿、磁铁矿、孔雀石等。非金属矿物主要有石英、方解石、高岭石、绢云母、斜长石、钾长石、石榴子石、透辉石、绿帘石、绿泥石、阳起石，次为电气石、重晶石、黑云母、磷灰石、榍石等。

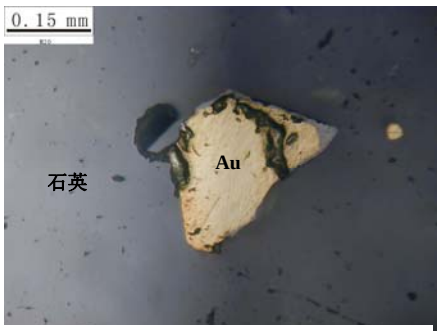
与金矿化关系密切的金属硫化物主要为黄铁矿、黄铜矿、斑铜矿、闪锌矿、方铅矿，脉石矿物主要为石英和方解石。

矿石结构构造繁多，构造类型有晶芽状、梳状（照片 24、照片 25）、晶簇状（照片 26）、浸染状（照片 27）、网脉状（照片 28）、条带状（照片 29）、角砾状等。结构类型有它形-半自形-自形粒状（照片 30）、压碎（照片 31）、交代、残余、溶蚀（照片 32、照片 33）、分带（照片 34）、分叉（照片 35）、文象（照片 36）、假象（照片 37）、共结边、环带（照片 38）、环边（照片 39）、镶边（照片 40）以及固融体分离结构（照片 41）等。分布较为普遍的有梳状、浸染状、细脉状构造，它形-半自形-自形粒状、交代、压碎、镶边、以及固融体分离结构。

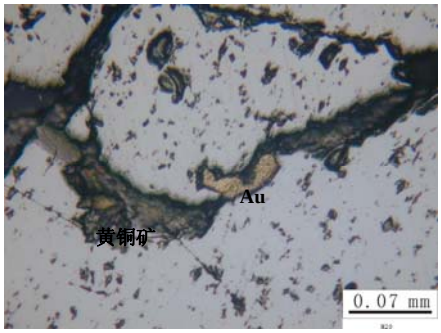
金主要呈自然金和银金矿产出，多以单体金和连生金为主，与硫化物为正相关关系，其中尤以与黄铜矿的关系最为密切，含金石英脉中富金的地段铜往往有明显的富集，m0 号、m3 号和 5 号含金石英脉中富金的地段，黄铜矿、斑铜矿以及孔雀石等多种铜矿物出现较多且明显富集（前已述及）。金的粒度一般在 0.01-0.1mm 之间，个别可达 0.2mm 以上。根据自然金的嵌存关系可划分为粒间金、裂隙金和包裹金三种，裂隙金和包裹金为其主要的存在形式(见图 2-4 A，B，C，D，E，F 和图 2-5 A，B，C，D)



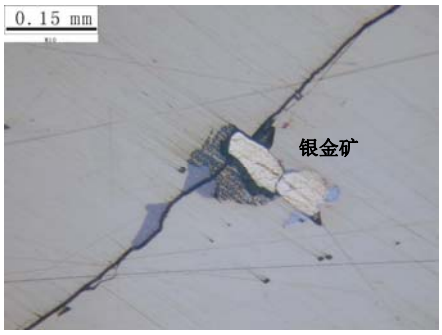
A 黄铁矿中两块不规则的自然金
义兴寨金矿床，0 隐号矿脉



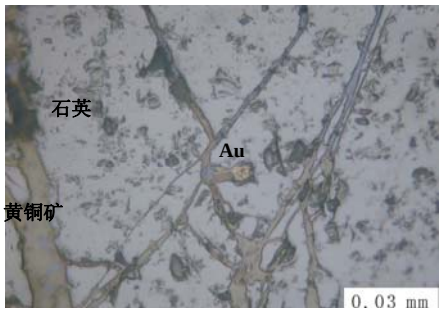
B 石英脉中的自然金
义兴寨金矿床，0 隐号矿脉



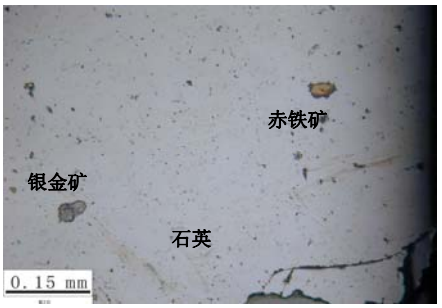
C 黄铁矿中沿裂隙发育的自然金
义兴寨金矿床，3 隐号矿脉



D 黄铜矿中沿裂隙发育的银金矿
义兴寨金矿床，3 隐号矿脉

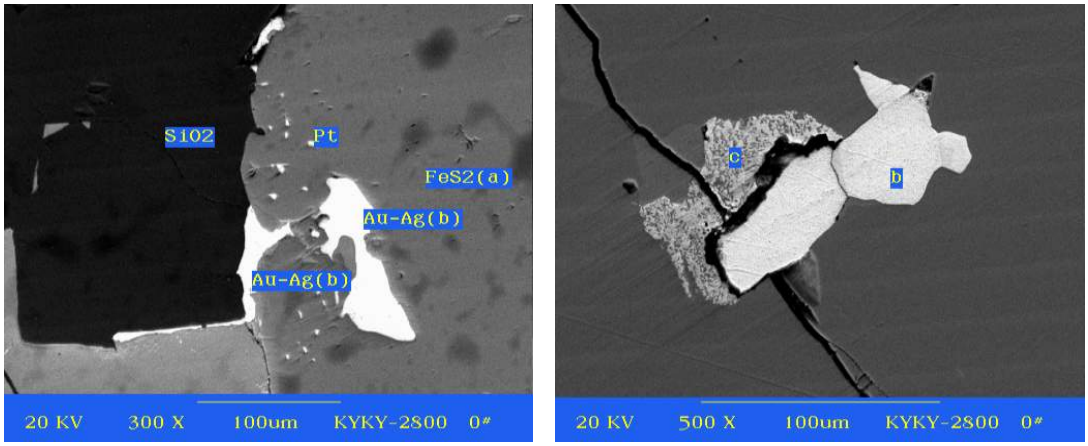


E 黄铁矿中网脉状黄铜矿裂隙中的自然金
义兴寨金矿床，3 隐号矿脉



F 黄铁矿中的包体矿物银金矿和赤铁矿
（50 倍正交镜下粉红色内反射）
义兴寨金矿床，铁塘垌

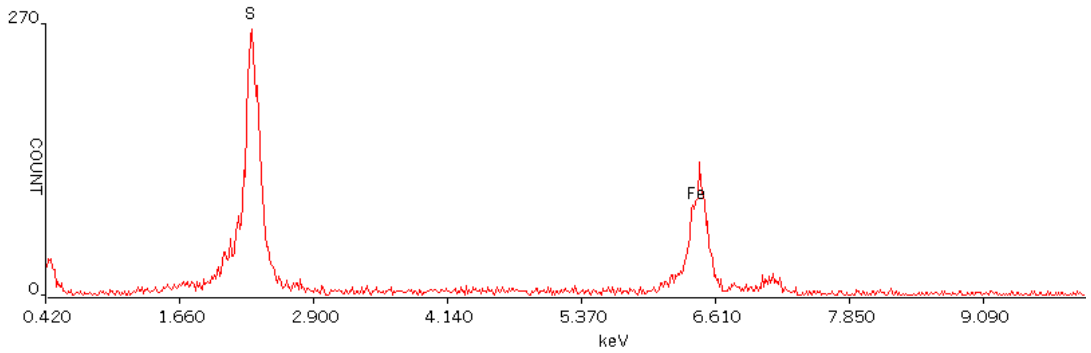
图 2－4 光片中金的赋存状态



A 光片中金的赋存状态扫描电镜背散射电子图像

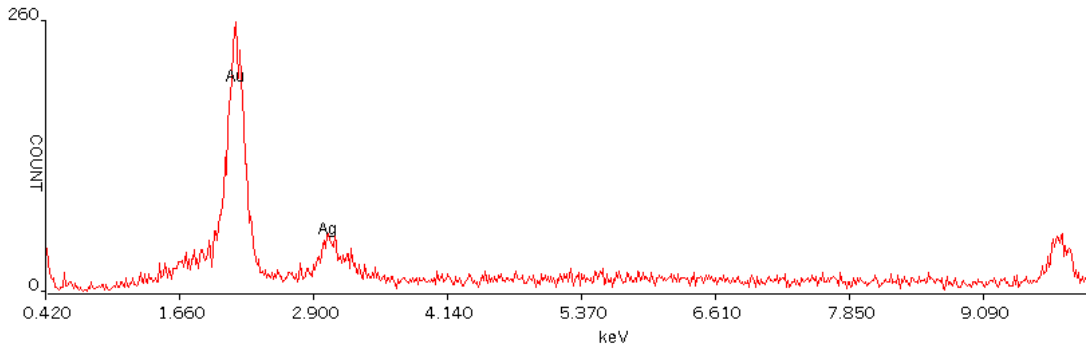
（图中 a、b、c 对应的物质成份查定见扫描能谱图像 B，C，D）

Element	kRation	--ZAF--	Weight%	-Atom%-
Fe	0.46323	0.7805	45.0621	32.0159
S	0.53677	0.7063	54.9379	67.9841
结论：黄铁矿 FeS_2				



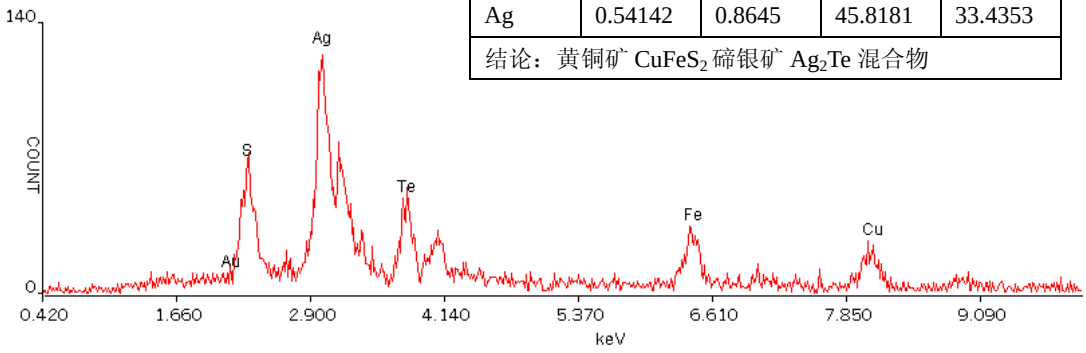
B A 图中 a 点物质成份查定扫描能谱图像（EDS）

Element	kRation	--ZAF--	Weight%	-Atom%-
Ag	0.11319	0.4482	21.4775	33.3088
Au	0.88681	0.9624	78.5225	66.6912
结论：银金矿 AuAg				



C A 图中 b 点物质成能谱图像（EDS）

Element	kRation	--ZAF--	Weight%	-Atom%-
S	0.08406	0.5883	10.6792	26.2171
Cu	0.10113	0.7099	10.6960	13.2494
Fe	0.07840	0.6812	8.6551	12.1993
Te	0.19499	0.5874	24.1515	14.8989
Ag	0.54142	0.8645	45.8181	33.4353
结论：黄铜矿 $CuFeS_2$ 碲银矿 Ag_2Te 混合物				



D A 图中 c 点物质成份查定扫描能谱图像（EDS）

图 2-5 金的赋存状态扫描电镜背散射电子图像及能谱图像

（m3 号富金斑铜黄铜黄铁矿石英脉--M3-1 光片扫描）

2.3.4 围岩蚀变及矿化阶段

在义兴寨金矿区内，由于成矿阶段的多期性，所以围岩蚀变的种类繁多，类型主要有矽卡岩化（包括石榴子石、透辉石、绿泥石、绿帘石、阳起石等矽卡岩化）、钾化（赤铁矿化）、硅化、黄铁矿化、绢云母化、高岭土化、绿泥石化、碳酸盐化等。不同岩性的围岩，其热液蚀变的种类和强度均有差异。与金、银矿化关系密切的蚀变作用有硅化、绢云母化、黄铁绢英岩化，次要蚀变类型有钾化、碳酸盐化、电气石化等。蚀变最发育的围岩为太古宇的石英闪长质片麻岩，而且蚀变岩在脉的两侧对称分带明显。

由高温向低温横向水平分带为：矽卡岩化带（杂色带）--钾化赤铁矿化（红色带）--硅化黄铁矿化绢云母化带（浅色带）--高岭土化绿泥石化带（绿色带）--碳酸盐化带（白色网脉带）。

就局部而言，含矿流体分异越完全，矿化强度越强，蚀变种类越齐全，分带性越明显；就整体而言，金矿化的规模与蚀变规模不具明显的正相关性，矿化是在早期蚀变（早期含矿流体卸载无用物质，如：矽卡岩）发生以后，沿有利的构造裂隙充填成矿（晚期成矿流体卸载有用物质）。尽管矿质沉淀就位时，也伴随有一定的蚀变（硅化黄铁矿化绢云母化），但蚀变的规模与矿化规模不成比例，如矿区范围内揭露的各条近南北向的主要含金石英脉，其矿化规模远大于蚀变规模。

依据主要矿石矿物的共生组合关系及伴随的主要蚀变类型，可分为 3 个主

要成矿阶段：

（1）矽卡岩-镜铁矿阶段。矿石矿物以镜铁矿和少量磁铁矿、黄铁矿为主，脉石矿物以石榴子石、透辉石、绿泥石、绿帘石和阳起石为主，蚀变以矽卡岩化为主，代表早期高温热液阶段。

（2）石英-硫化物阶段。矿石矿物以银金矿、自然金、角银矿、含银方铅矿、黄铁矿、黄铜矿、斑铜矿、闪锌矿、方铅矿为主，脉石矿物石英为主，少量方解石，蚀变以硅化黄铁矿化绢云母化为主，是金的主要成矿阶段，代表中期中温热液成矿阶段。

（3）碳酸盐阶段。主要由方解石晶簇、石英晶体和少量白云石等脉石矿物构成，黄铁矿、闪锌矿呈零星浸染状分布。该阶段以裂隙充填为特色。蚀变以碳酸盐化为主，是金矿化的尾声阶段，代表晚期低温热液成矿阶段。

上述三个矿化阶段的成矿温度由高到低；金银矿化由以金为主、银为辅，发展到银、铅、锌为主金为辅；硫化物矿物由以黄铁矿、黄铜矿为主发展到黄铁矿、黄铜矿与闪锌矿、方铅矿共生。石英在粒度、颜色和晶形上呈现规律性地发展，主要含金矿物黄铁矿，按其粒度、品形、含金性可分五个世代。这些规律和信息，表明成矿作用的多阶段性，成矿物质、成矿流体的多来源性和成矿温度的多变性。

第三章 成矿控制因素分析

3.1 角砾岩筒与成矿的关系

3.1.1 角砾岩筒地质特征

矿区范围内共出露四个角砾岩筒，整体呈菱形格局分布，从北西向南东依次为河湾、铁塘硐、南门山、金鸡岭，四个角砾岩筒主要分布于矿区中部断裂密集地带，受北西向、北北西向、北东向以及北东东向断裂构造控制明显。

河湾角砾岩筒主要分布于义兴寨村东边的河床内，为一不规则筒状体，周边均向内倾，倾角 60°-85°，平均直径 550m，分布面积 0.196km^2，受北西向、北北西向以及北东东向断裂构造控制明显。围岩主要为黑云角闪斜长片麻岩，筒内大部分为长石石英斑岩所充填，局部可见较明显的流纹构造、黑云角闪斜长片麻岩捕虏体以及少量蚀变角砾岩。

铁塘硐角砾岩筒位于矿区东部铁塘硐山，平面形态略呈菱形，北东宽约 225m，北西长约 240m，面积约为 0.054km^2，周边均向内陡倾，倾角一般大于 80°，空间形态为一向内陡倾的筒状体，受北西向、北北西向、北东向以及北东东向断裂构造交汇部位控制明显。围岩主要为黑云角闪斜长片麻岩，岩筒主要由矽卡岩化隐爆角砾岩以及残留灰岩组成，具有多次破碎，反复蚀变（由高温至低温），多期热液矿化叠加现象。

南门山角砾岩筒位于矿区西南部南门山南侧，东西长约 900m，平均宽 150m，面积约为 0.135km^2，岩体向北倾斜，倾角 40°-70°，受北西向、北北西向以及北东东向断裂构造交汇部位控制明显。围岩主要为黑云角闪斜长片麻岩，边部残留有少量灰岩（几乎全部大理岩化），岩筒主要由早期长石石英斑岩-中期石英斑岩-少量蚀变角砾岩与围岩碎块组成。

金鸡岭角砾岩筒位于铁塘硐角砾岩筒 176° 方向约 975m 处。地表形态呈菱形，直径约 110m，分布面积 0.0095km^2，周边向内陡倾，空间形态呈一向内陡倾的漏斗状，受北西向、北北西向以及北东东向断裂构造交汇部位控制。围岩主要为黑云角闪斜长片麻岩，岩筒主要由矽卡岩化隐爆角砾岩以及残留灰岩组成，热液蚀变及金属硫化物矿化叠加现象明显。

3.1.2 角砾岩筒与成矿的关系

矿区范围内出露的四个角砾岩筒，从其产出特征分析，可以归为两类：

一类以河湾和南门山角砾岩筒为代表，其主要特征为：以燕山期超浅层相

的长石石英斑岩、中期石英斑岩以及酸性脉岩为主要填充物，岩体的局部地段有较明显的流纹构造，形成的角砾岩规模不大，发育于岩筒的上部靠近边部和顶部，成因上主要为岩浆质胶结的侵入角砾岩，在其边部出露有少量的蚀变角砾岩，角砾成分以片麻岩围岩碎块和捕虏体为主，局部含少量热液蚀变角砾（与岩体局部冷凝分异出的少量流体的蚀变作用有关）和早期冷凝的岩浆岩的角砾。

另一类以铁塘硐和金鸡岭角砾岩筒为代表，其主要特征为：以矽卡岩化隐爆角砾岩以及残留灰岩为主要填充物，角砾岩规模较大，岩筒上部除少量酸性脉岩外几乎全为矽卡岩化角砾岩体，成因上主要为矽卡岩质胶结的热液角砾岩，角砾成分复杂多样，以矽卡岩和交代残留的灰岩为主，其次也含有黑云角闪斜长片麻岩、浅粒岩、变质辉绿岩、石英斑岩、霏细岩以及燧石团块等。岩筒内热液蚀变以隐爆机制下早期气液交代形成的矽卡岩化为主，晚期则以沿裂隙充填形成的硅化、碳酸盐化和绿泥石化为代表。

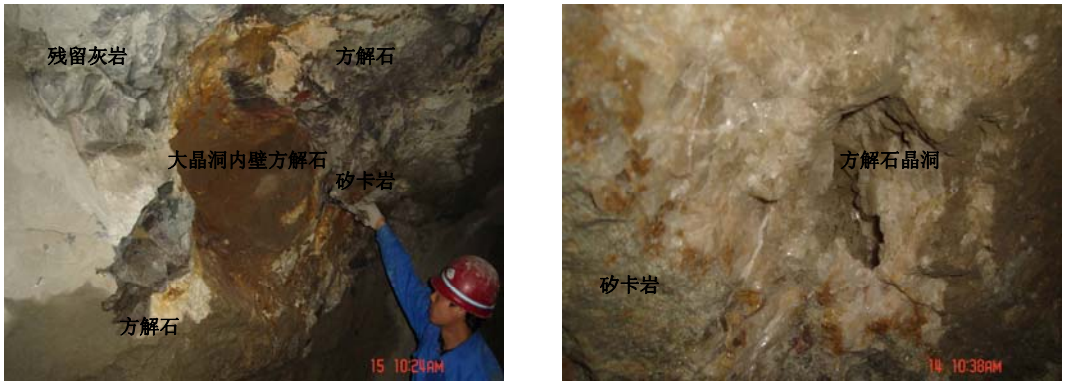
早期矽卡岩矿物主要有石榴子石(照片 42，照片 43)和透辉石(照片 44，照片 45)，晚期矽卡岩矿物则以绿泥石、绿帘石(照片 46，照片 47)和阳起石为主，形成的岩石以透辉石石榴子石矽卡岩(照片 48，照片 49)和绿泥石绿帘石阳起石矽卡岩为主，分别代表了早期干矽卡岩阶段和晚期湿矽卡岩阶段的典型交代岩石。

岩筒内矿化普遍，从早到晚可以划分为三个阶段：早期矽卡岩阶段-中期石英硫化物阶段-晚期碳酸盐阶段。矽卡岩阶段形成的主要金属矿物为镜铁矿（照片 50，照片 51），其次还有少量磁铁矿；镜铁矿晶形完整，具半自形-自形片状结构，呈浸染状、团包状以及少量细脉状分布于矽卡岩中，局部富集地段已构成工业矿体。石英硫化物阶段以大量产出的石英硫化物脉为代表，形成的主要金属矿物包括黄铁矿、黄铜矿、斑铜矿、辉铜矿、闪锌矿、方铅矿以及自然金、银金矿等，是最主要的矿化阶段。碳酸盐阶段以大量产出的方解石细脉为典型代表，形成的金属矿物主要为闪锌矿、方铅矿以及银金矿等。

角砾岩筒内裂隙和不规则洞穴极其发育，是后期成矿元素沉淀良好的容矿空间，裂隙内常穿插有各种硫化物细脉、含金石英硫化物脉以及石英方解石脉和绿泥石方解石脉带等，局部地段可见较大的方解石晶洞，晶洞内壁为方解石薄膜（图 3-1 a，b）。

其隐爆机制阐述如下：来自于深部岩浆房的含硅质成分较高的高压熔融体，沿多期活动的北西向深大断裂上升，在其浅部就位过程中，在靠近北西向深大断裂附近的河湾和南门山等断裂密集地段，受北西向、北北西向以及北东东向断裂构造交汇部位控制，压力突然减小，熔融体快速上升到近地表附近，由于上覆围岩以及早期结晶的冷凝外壳的阻挡，引起内压积聚上升，当其聚集到一定

程度时，冲破上覆围岩的束缚，引起隐爆，在岩体的边部和顶部形成一定的岩浆质胶结的侵入角砾岩，后续的熔融体由于压力在上部已经释放，故而在角砾岩筒的下部形成超浅层相的长石石英斑岩、中期石英斑岩以及霏细岩等，斑状结构、霏细结构、隐晶-微晶结构以及流纹构造正是熔融体快速上升和冷凝形成超浅层相岩体的典型证据。边部少量的蚀变角砾岩则与超浅成相岩体上部局部冷凝释放出的少量热液直接相关。



a b

图 3-1 矽卡岩中发育的不规则状晶洞

1070m 中段铁塘硐角砾岩筒矽卡岩中发育有较大的不规则状晶洞，晶洞内壁为方解石，边部有交代残留的灰岩

岩体冷凝就位以后，伴随着岩浆活动从深部岩浆房分异出的大量含有挥发份和矿质的高压含矿流体沿多期活动的北西向深大断裂继续上升，在其浅部就位过程中，同样受北西向、北东向、北北西向以及北东东向断裂构造交汇部位控制，受早期形成的冷凝岩体的空间制约，另劈通道沿铁塘硐和金鸡岭等断裂密集地段大量上涌，由于上覆围岩的束缚，造成内压积聚上升，同时由于含矿流体和上覆灰岩在较短时间内发生强烈的双交代作用，释放出大量的 CO_2 气体，使含矿流体体系的内压进一步加大，最终冲破上覆围岩的束缚，引起强烈的隐爆，形成了大规模分布的矽卡岩质胶结的热液角砾岩。

岩筒内角砾大小不一，成分多样，胶结物主要为蚀变的热液矿物-矽卡岩矿物，角砾成分以矽卡岩和灰岩为主，其次为片麻岩等；残留有大块未蚀变、较新鲜的灰岩，岩筒集中发育的地段基本上就是早期灰岩分布的地段；岩筒与周边的围岩-片麻岩界线清晰，片麻岩蚀变和碎裂化现象均不显著，角砾岩体到片麻岩角砾化程度为突然过渡关系，基本上不具宏观的由强到弱的分带性；裂隙和不规则洞穴发育；蚀变和矿化类型早晚阶段性特征明显；以上这些均是与岩浆有关的含矿流体在较短时间内快速上升、在相对较小的空间内与灰岩发生不完全双交代作用，导致最终隐爆形成矽卡岩质胶结的热液角砾岩筒的典型证据。

从以上分析不难看出，靠近北西向深大断裂附近的河湾和南门山角砾岩筒

形成相对较早，属于晚期岩浆阶段形成的酸性高硅质成分的超浅成相岩浆产物；而铁塘硐和金鸡岭角砾岩筒形成相对较晚，属于岩浆期后热液阶段形成的矽卡岩质为主的超浅成相含矿流体的产物。两者来源于统一的深部岩浆房，属深部岩浆房在不同的阶段分异出的衍生物。岩浆质胶结的河湾和南门山角砾岩筒代表了岩浆侵位的前锋，其周边地段接触带体系范围内是成矿最有利的地段；矽卡岩质胶结的铁塘硐和金鸡岭角砾岩筒代表了流体大量汇聚的中心，其内部及其周边断裂裂隙发育地段是矿体定位的最佳场所，是找矿的重点靶区和靶位。

3.2 地层及其与成矿关系

矿区内地层单一，主要为五台群台子底组训草段黑云角闪斜长片麻岩（照片 52、照片 53、照片 54、照片 55），局部夹少量薄层浅粒岩。其次还有少量大小不一的大理岩残留体，属上元古界蓟县系雾迷山组灰岩接触热变质产物。

前人对矿区内 280 件样品的黑云角闪斜长片麻岩的微量元素统计结果显示，金平均含量为 0.062×10^{-6}，相当于地壳克拉克值 0.004×10^{-6}（黎彤，1976）的 15 倍，在主要含金矿脉旁侧系统采样分析显示，围岩的金含量与距含金石英脉带的远近无明显的相关性[1]。

本次工作采集 103 件黑云角闪斜长片麻岩、16 件钾长石片麻岩、17 件斜长石片麻岩和 16 件绿泥石片麻岩样品，微量元素统计结果显示，金平均含量依次为 32.87×10^{-9}、1.03×10^{-9}、2.07×10^{-9}和 51.99×10^{-9}（见表 3－1）。地层的主要组成岩石--黑云角闪斜长片麻岩金含量较高，相当于地壳克拉克值的 8 倍；夹在其中呈脉状和不规则状产出的缺少暗色矿物的钾长石片麻岩和斜长石片麻岩则表现为金的低含量层；夹在其中局部呈薄层状产出的绿泥石片麻岩含金量最高，相当于地壳克拉克值的 13 倍。需要说明的是，呈脉状和不规则状产出的浅-深肉红色钾长石片麻岩和灰白色斜长石片麻岩实为变粒岩，绿泥石片麻岩实为绿泥石片岩，黑云角闪斜长片麻岩实际包括角闪斜长片麻岩和黑云角闪斜长片麻岩两种。

从中可以看出，一方面作为地层主要组成岩石的黑云角闪斜长片麻岩具有较高的金含量，分布于其中的绿泥石片麻岩金含量更高，说明成矿前围岩中成矿元素有一定的预富集；另一方面，脉状产出的缺少暗色矿物的钾长石片麻岩和斜长石片麻岩金含量特低，说明了五台群片麻岩在成岩过程中存在着明显的分异作用，金含量的高低不但与变质作用发生以前原岩的成分有关，而且与变质分异作用直接相关，金的富集与暗色铁镁质矿物表现出一定的相随性，与浅色长英质矿物关系不大。

表 3-1 矿区内不同岩石样品微量元素平均含量统计表 单位：$\omega_B/10^{-6}$

样品名称(数量)	Mn	Sn	Mo	Bi	Cu	Pb	Zn	Au（10^{-9}）	Ag	Hg	Sb	As
角闪斜长片麻岩(103 件)	452.20	1.16	1.34	0.60	36.89	32.72	69.15	32.87	0.19	0.02	0.36	2.50
钾长石片麻岩(16 件)	365.12	0.64	0.32	0.17	19.67	46.41	36.63	1.03	0.13	0.02	0.29	1.10
斜长石片麻岩(17 件)	452.00	0.78	0.32	0.25	21.63	47.29	60.76	2.07	0.20	0.02	0.33	1.64
绿泥石片麻岩(16 件)	677.44	4.06	1.22	1.28	94.13	130.73	96.50	51.99	0.42	0.02	0.60	6.8096
中期石英岩(19 件)	300.32	2.93	3.39	1.62	47.20	155.03	80.74	60.52	0.37	0.02	0.49	4.48
石英闪长岩(12 件)	606.33	1.56	0.66	0.25	40.50	29.04	93.33	10.61	0.11	0.02	0.31	1.57
硫化物石英脉(22 件)	1466.70	2.23	3.81	1.54	60.81	171.72	258.91	89.86	1.62	0.02	1.91	60.26

测试单位：桂林矿产地质研究院测试中心

从区域上来看，五台群绿岩带地层中已经产出有一定数量的层控型和韧性剪切带型金矿床（如柏枝岩层控型金矿床和韧性剪切带型刘家坪金矿床）[4]，矿床的形成主要与绿岩带地层直接相关，并没有经受后期的岩浆热液改造成矿作用，因而从区域对比分析来看，作为五台群绿岩带组成部分的具有较高金含量的本区片麻岩地层可以作为矿源层考虑。

从本区具体的情况分析来看，含金矿脉主要受断裂裂隙和矽卡岩化角砾岩筒控制，矿体的产出在空间上和成因上受燕山期浅成-超浅成岩浆侵入活动控制明显，远离岩浆热力影响范围内并没有成型的工业矿体产出。含金石英脉带旁侧片麻岩的金含量显著降低，与工业矿体为突变关系，片麻岩的金含量与距含金石英脉带的远近无明显的相关性。含金硫化物石英脉充填成矿特征明显，与片麻岩接触界线平直清晰，矽卡岩化、大理岩化、硅化、黄铁绢英岩化等矿化与蚀变在一定范围内从高温到低温的分带性，均显现出岩浆热液成矿作用的典型特征。矿体的形成和定位严格受燕山期岩浆活动热力影响的接触体系和各种成矿期断裂裂隙控制，与片麻岩没有直接的相关性。

矿体周边围岩成矿元素的高含量层可以作为矿源层，因为其有初始富集，矿体周边围岩成矿元素的低含量层同样可以作为矿源层，因为其成矿时被提取出了较多的成矿元素。上述两种情况在许多已经揭露的实际矿床中同时存在，因而不能单纯依据围岩中成矿元素的含量高低来判定是否矿源层，而应该从是否有成矿元素在成矿过程中被活化迁移进入成矿流体来判定是否矿源层。本区目前并没有这方面的典型直接证据，因而，对于浅层次上矿体的形成和定位来说，燕山期岩浆岩是唯一的成矿母岩；对于深层次上成矿流体和成矿母岩的形成和演化而言，作为五台群绿岩带组成部分的具有较高金含量的本区片麻岩地层可以作为矿源层考虑。

从成矿的贡献来看，在成矿前构造格局、燕山期构造应力场和岩浆活动热力场共同影响下，片麻岩主要以其硬度大，性脆易开裂，充当成矿期浅部领域内各种脆性控矿构造的良好围岩，同时在含矿流体的运移、聚集和定位过程中，充当良好的隔挡层。

3.3 岩浆岩及其与成矿关系

矿区范围内出露的岩浆岩较多，其中与成矿直接相关的为燕山期岩浆岩，主要由一套浅成相中酸性闪长杂岩（包括石英二长闪长岩和石英闪长岩）、花岗斑岩、超浅成相或次火山岩相酸性岩以及衍生分异的酸性脉岩组成（包括早期长石石英斑岩、中期石英岩以及晚期石英斑岩脉、霏细斑岩脉和霏细岩脉）。上述岩体整体上出露于矿区南部，由南到北依次为：闪长杂岩体--花岗斑岩体--

酸性（斑）岩体。

孙家庄一带 1:25000 磁测异常结果显示，100γ 等值线封闭的范围大致呈近南北向，异常形态与孙家庄闪长杂岩体比较吻合，异常曲线北西陡南东缓，异常梯度变化特征整体显示向东和向南两个方向延深大，因而可以判定岩体是从南东向北西侵入而形成的[88]，与岩浆入侵基本上是受多期活动的北西向义兴寨大断裂控制的地质结论相吻合。

燕山期岩体 K-Ar 法和 Rb-Sr 测年结果显示，从闪长岩（155.6Ma）、花岗斑岩（127.9Ma）到石英斑岩（116Ma）有下降的趋势[1]。岩浆的演化和成岩系列从早到晚、从南到北依次为：浅成相中酸性闪长杂岩（包括石英二长闪长岩和石英闪长岩)--浅成相花岗斑岩--超浅成相或次火山岩相酸性岩和酸性脉岩(长石石英斑岩、石英岩，石英斑岩脉和霏细岩脉等)。

矿区范围内出露的岩浆岩是燕山期岩浆侵入活动最晚期的产物，位于岩浆侵位的前锋地段，以超浅成相或次火山岩相酸性岩和酸性脉岩为主，主要由微晶-隐晶的石英（照片 56）以及少量斜长石组成，局部地段见较大的片麻岩和硅质团块角砾，以及分布均匀呈浸染状的灰岩岩屑。结构以微晶-隐晶质结构和霏细结构为主，少量斑状结构，局部地段见气孔、流纹和杏仁构造。

1070m 中段铁塘硐角砾岩筒中的霏细岩脉，由微晶-隐晶质石英组成，质地细腻，类似玛瑙和蛋白石，含量在 90%以上，充分显示了其快速侵位冷凝成岩的超浅成相特征（图 3-2)。



图 3-2 质地细腻的霏细岩

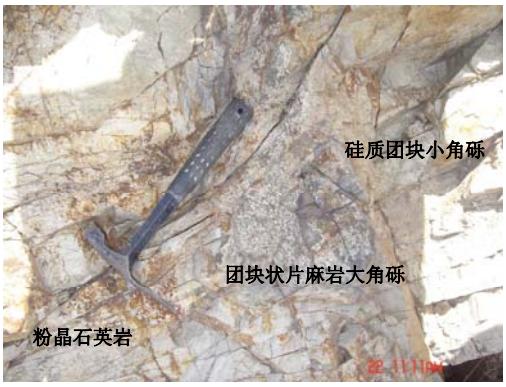


图 3-3 中期石英岩中的圆球状片麻岩角砾

F4 大断裂北东侧河湾角砾岩筒附近，中期石英岩中见一直径约为 18cm 的圆球状片麻岩角砾（图 3-3)。中期石英岩显灰白-白色，石英颗粒细小，呈粉晶至微晶状，但结晶颗粒透明度不是很好。里面见较多的小晶洞状黄铁矿，黄铁矿几乎已全部褐铁矿化，局部地段见长石小斑晶，但整体斑晶非常少；圆球状片麻岩大角砾，边部片麻理明显，大角砾中心见直径约 8cm 左右的硅质团块角砾，属岩浆质胶结的典型侵入角砾岩，是超浅成相或次火山岩相岩浆岩的典

型证据。

河湾角砾岩筒G06点附近的石英岩表面局部地段见明显的层纹构造（图3-4）。S1测线66号点南50m处，灰白色的霏细岩中见分布均匀呈浸染状的灰岩岩屑（图 3-5），局部地段霏细岩呈蔷薇红色，见明显的气孔、流纹和杏仁构造（图 3-6），也说明了矿区范围内岩浆岩属特征明显的超浅成相或次火山岩相岩浆岩。



图 3-4 G06点附近石英岩表面的层纹构造

靠近矿脉附近的霏细岩中常有不规则状黄铁绢英岩化和硫化物细脉穿插，局部地地段见矽卡岩脉插入，显示了矿区范围内岩浆岩与成矿的密切关系。



图 3-5 含灰岩岩屑的霏细岩



图 3-6 霏细岩的气孔、流纹、杏仁构造



图 3-7 霏细岩中的不规则状黄铁绢英岩团块



图 3-8 霏细岩脉黄铁绢英岩中自形晶黄铁矿

1070m 中段铁塘硐角砾岩筒霏细岩中分布有不规则状黄铁绢英岩团块（图3-7），团块中见较多的自形晶黄铁矿（图3-8），此外在霏细岩中常见黄铁矿细脉切穿霏细岩和黄铁绢英岩（图3-9），充分显示了成岩后成矿流体多期活动的交代蚀变和矿化作用-早期蚀变以高岭土化和黄铁绢英岩化为主，晚期有石英硫化物细脉穿插。

1070m 中段铁塘硐角砾岩筒霏细岩脉裂隙中发育有绿帘石透辉石石榴石矽

卡岩脉(产状 292° ∠36°),明显是由成岩后成矿流体充填交代形成(图 3-10)。霏细岩与矽卡岩之间为不规则状较清晰的接触界线，两者过渡部位霏细岩脉边部具明显的退色化带-高岭土化明显的黄铁绢英岩。

上述现象说明霏细岩脉尽管相对于矽卡岩化隐爆角砾岩（早期成矿流体的产物）形成较晚，但在其成岩以后，仍有明显的成矿流体的活动，蚀变（高岭土化黄铁绢英岩）和矿化（硫化物细脉穿插）以及矽卡岩脉穿插等典型现象，均充分显示了成矿与燕山期超浅成岩浆侵入活动关系密切，而且伴随着不同的燕山期岩体的成岩过程，带来了多期的成矿流体活动，最终形成了由不同成矿阶段控制的工业矿体。

矿区内矿石硫同位素组成一般集中在-0.9-3.1‰之间，均值 1.38‰，与国内岩浆热液矿床的硫同位素值 1.68‰十分接近；燕山期不同岩体和不同岩性的硫同位素组成介于 0.2-4.4‰之间，与矿石硫同位素组成一致，两者来自同一硫源[86]，显现了成矿与燕山期岩体的密切关系[89]。

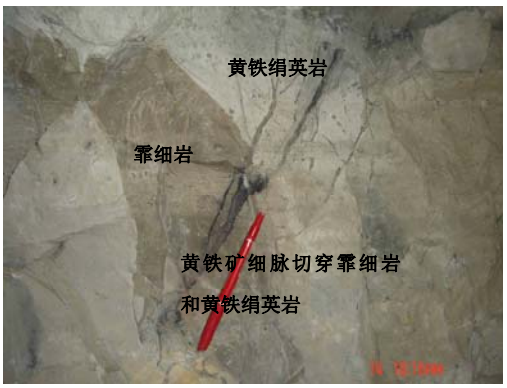


图 3-9 黄铁矿细脉切穿霏细岩和黄铁绢英岩

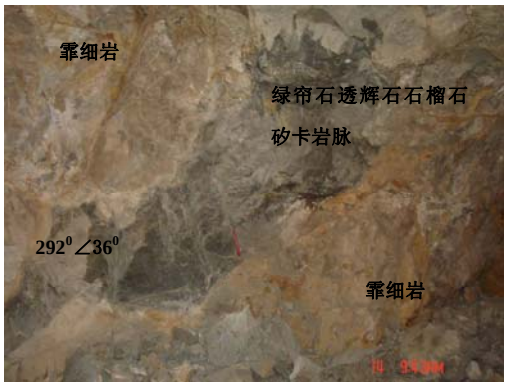


图 3-10 霏细岩中的矽卡岩脉

矿石中石英单矿物平衡水的δO^{18}（‰）为 8.11‰～8.26‰，均一化程度高，与燕山期闪长杂岩体的全岩氧同位素（9.10‰）十分接近；在矿石石英流体包裹体的氢氧同位素δD（‰）-δO^{18}（‰）图解中，本区大部分样品点投于正常岩浆水和大气水之间的区域，部分点投入正常岩浆水范围，说明成矿流体主要来自于深部岩浆房，但在浅部运移过程中有大气水的明显加入[85]。

矿石样品的流体包裹体主要类型有富液相气液包裹体、富气相气液包裹体、富液相 CO_2 包裹体以及含子晶 NaCl 多相包裹体四种，含矿石英脉的流体包裹体的特征与燕山期闪长杂岩体十分相似，而与片麻岩相差较大，也说明了成矿流体主要来自于岩浆，是燕山期岩浆热液演化体系中一个非常重要的组成部分[7]。

前人对矿区内燕山期岩浆岩 164 件样品的金含量[1]统计结果显示，金平均含量为 4.43×10^{-9}，相对于酸性岩浆岩的地壳克拉克值 1.6×10^{-9}，含金量普遍偏高；本次工作在矿区南部采集燕山期以中期石英岩为代表的岩浆岩样品 19 件，金平均含量为 60.518×10^{-9}，远高于酸性岩浆岩的地壳克拉克值，充分显

示了燕山期岩浆岩是本区的成矿母岩。

从矿床的出露位置来看，义兴寨金矿产于燕山期闪长杂岩体的西北部，而辛庄金矿则位于岩体东南部，二者受义兴寨北西向控岩大断裂和岩浆热力接触带体系控制明显。由于岩浆是沿深部较大规模的北西向张扭性控岩断裂构造(走向一般 305-335°，倾向南西，倾角 65-85°）从南东向北西侵入的，岩体接触带整体上呈北西走向，向南西倾斜，在北部又向南侧伏。因而，从广义上说，义兴寨金矿和辛庄金矿都处于岩体热力接触带体系下盘，受控于岩体超覆构造体系，而超覆构造体系是岩浆含矿流体上升优先汇聚的地段，是成矿期各种容矿断裂裂隙受热力影响最发育的地段，是矿体定位的最佳场所，这也是本区较大规模的矿床就位于此的根本原因所在。另一方面，义兴寨金矿不但处于岩体超覆构造体系下，而且位于岩浆侵位的前锋地段（河湾和南门山岩浆质胶结的侵入角砾岩筒的形成是其典型证据)，周边分布的是燕山期复式岩体成岩过程中最晚阶段的超浅成相或次火山岩相产物，是成矿流体最活跃的部位（铁塘硐和金鸡岭矽卡岩质胶结的热液角砾岩的形成是其典型证据)，因而，其矿化强度比辛庄金矿更强，所形成的矿化规模更大。

从含金石英脉带的分布情况来看，尽管受成矿期断裂裂隙控制明显，但矿化基本上还是围绕岩体分布,矿化较好的含金石英脉带主要分布在岩体周边 2km 范围内，远离岩体的热力接触带体系矿化逐渐变弱，无成型的工业矿体产出。

综上所述，本区燕山期岩浆侵入活动与成矿关系密切，是本区成矿最重要的主导因素，成矿物质、成矿流体以及成矿能量主要来自于岩浆，矿床（体）的形成和定位受岩浆热力接触带体系控制明显。岩浆侵入活动是沿深部较大规模的北西向张扭性控岩断裂构造从南东向北西侵入的；各种不同的岩浆岩是由深部统一的岩浆房在燕山期不同阶段依次分异上升侵位，在盖层构造的控制下而形成的不同的衍生物；其中矿区范围内出露的超浅成相或次火山岩相酸性岩是岩体侵位的前锋，是燕山期复式岩体成岩过程中最晚阶段的产物，是成矿最活跃的部位，伴随其侵位上升和冷凝成岩，带来了大量的深部岩浆房不同阶段分异会聚形成的含矿流体，最终在其周边地段有利的各种容矿构造中形成了规模较大的工业矿体。

3.4 构造控矿机制分析

断裂构造对本区金矿床的作用是明显的，矿床、矿点分布主要受 NNW 向主干断裂带的控制，特别是 NNW 向和 NE 向两组主干断裂的交会处，常常是矿床产出的有利构造部位，而这些主干断裂可能早先是基底断裂，在燕山期又重新活

化的、强烈发育的断裂带。主干断裂是主要的导岩、导矿构造，也是岩浆流动、含矿流体运移的通道，但矿体沉积的圈闭构造则主要是次级构造。矿床常具有断裂、裂隙构造和火山构造复合控矿的特点，矿体常分布在主干断裂与次级断裂的交汇处，次火山岩体的原生冷缩裂隙中，尤其是叠加断裂、裂隙构造的隐爆角砾岩筒中，矿体的形态则明显受成矿构造控制，多呈脉状、网脉状、透镜状产出。

矿区内控矿构造按与成矿的关系可划分为导矿构造、配矿构造和容矿构造三大类，分述如下：

导矿构造主要为经过矿区的多期活动切割较深的大规模北西向区域性张性大断裂（尧沟--义兴寨和牛家川--杏树沟--龙山断裂），是深部岩浆上涌和岩浆房分异出的成矿流体上升进入矿田内的主要运移通道，是级别最高的控岩和控矿构造，是区域上北西向构造岩浆成矿带形成的主导控制因素。

配矿构造主要为矿区范围内出露的次一级别的规模较大的北西向张扭性断裂（如义兴寨、金鸡岭和龙山断裂等），是成矿流体从深部进一步上升进入矿床范围内的主要运移通道，也是成矿岩体浅部就位的主要控岩构造，是矿床（义兴寨和辛庄金矿）形成和定位的主导控制因素。除此之外，成矿岩体周边的断裂接触带构造（包括岩浆侵位前锋地段和超覆构造体系）以及不同方向断裂交汇结点形成的隐爆角砾岩筒也属于配矿构造的范畴，对成矿流体的浅层次运移起到了一定的控制作用。

容矿构造主要为矿区范围内出露的北北西向压-张扭性断裂裂隙，是成矿流体浅部就位和矿质沉淀的主要场所（如 0 号、1 号、2 号、3 号、m3、5 号和 6 号等大多数主要的含金石英脉带），是控制矿体形成和空间定位的主要构造形迹。此外，更次一级的少量北西向断裂裂隙以及隐爆角砾岩筒中的环状裂隙和不规则状虚脱空间也对矿质的沉淀和储集起到了一定的控制作用。

上述情况表明，各种不同形式、不同级别的构造对成矿岩体的形成和就位、成矿流体的运移和储集以及矿体的形成和定位均起到了至关重要的作用，是成矿最重要的控制因素。其中较大规模的北西向张性断裂和次一级的北北西向压-张扭性断裂裂隙控制了矿床和主要矿体的形成和定位，是最主要的控矿构造。

第四章 矿体定位规律及矿床成因分析

4.1 成矿定位规律研究

矿区内矿床的形成和定位主要受区域性北西向构造岩浆活动带控制，具体而言，主要受规模较大的北西向张扭性断裂带、岩浆热力接触带超覆构造体系、岩浆侵位前锋超浅成相或次火山岩相酸性岩（脉）集中出露地段以及隐爆角砾岩筒周边发育的构造裂隙密集地带的联合控制。

矿体或含金石英脉带的空间定位则主要受以下因素控制：延伸较远的近 SN 向断裂裂隙和延伸较短的 NW 向断裂裂隙；近 SN 向和 NW 向追踪断裂裂隙；NW 向张性大断裂局部构造蚀变岩带下盘结构面附近；NW 向张性大断裂与次一级近 SN 向断裂裂隙交汇部位；隐爆角砾岩筒内部环状裂隙、放射状裂隙、不规则状扩容虚脱空间，以及矿区南部岩浆侵位前锋控制的向南倾伏的接触面与近 SN 向断裂裂隙交汇所形成的侧伏构造。

矿区内有利的成矿地段和找矿空间：

① 闪长杂岩体热力接触带体系（能量场、流体场、物质场、断裂接触带、超覆构造、侵位前锋）所涵盖的北东侧 300m--2000m 范围内；

② 较大规模的 NW 向张性大断裂之间，近 SN 向和 NW 向断裂裂隙密集发育地带；

③ NW 向张性大断裂局部以及与次一级近 SN 向断裂裂隙交汇地段；

④ 环状、放射状裂隙以及不规则状扩容虚脱空间发育的隐爆角砾岩筒内部和邻近周边地段；

⑤ 铁塘硐--金鸡岭（流体强烈活动会聚中心）周边 500m--1000m 范围内；

⑥ 现已探明的含金石英脉带在走向、倾向以及侧伏方向上 1000m 以内的延伸地段；

⑦ 现已探明的含金石英脉带之间间隔较大的无矿地段的深部空间；

⑧ 地表已发现近 SN 向矿脉出露地段的南北两侧黄土覆盖区。

4.2 矿脉产出的典型识别标志

石英脉型金矿：延伸较远、受断裂裂隙控制明显的近 SN 向矿脉，是矿区范围内金矿体最主要的一组矿脉，也是最主要的矿化类型，其产出的典型识别标志为：

①靠近闪长杂岩体 300-2000m 范围内，或旁侧脉岩发育--与矿脉、闪长杂

岩体是深部岩浆演化的同源产物；闪长杂岩体超覆构造及断裂接触带附近；

②靠近热液角砾岩筒--流体强烈活动中心；

③较大的区域性 NW 向张性断裂带旁侧；

④剪应力强张应力弱、延伸远、连续性好、相对窄的断裂地段；

⑤断裂裂隙带结构面附近；

⑥石英脉蚀变不强，但脉壁平直清晰，与两侧岩石呈突变过渡关系，晚期残余富集，充填成矿特征明显；

⑦热液矿物在围岩或其它导矿构造中已大量卸载,残留的含金石英熔融体分异完全，石英结晶程度较高--晶芽状、晶簇状、梳状和对称梳状等充填标志明显；

⑧断裂带旁侧围岩碳酸盐化明显，常见较多的呈网脉状分布的方解石细脉；

⑨主要由石英、金和多金属硫化物以及少量不规则状的黄铁绢英岩组成。

构造蚀变岩型金矿：受较大规模北西向张扭性断裂构造带控制，其产出的典型识别标志为：

①靠近闪长杂岩体 300-2000m 范围内；旁侧脉岩发育——与矿脉、闪长杂岩体是深部岩浆演化的同源产物；闪长杂岩体超覆构造及断裂接触带附近；

②靠近热液角砾岩筒——流体强烈活动中心；

③发育于较大的 NW 向张性断裂带中；

④无近 SN 向裂隙交汇沟通；

⑤张应力强剪应力弱、延伸不远、连续性不好、相对较宽的断裂带；

⑥北西向张扭性断裂构造带结构面附近；

⑦交代蚀变作用强，大量卸载，构造岩中热液蚀变矿物普遍，矿化与蚀变均具有明显的分带性（前已述及），含金石英脉在断裂带下盘结构面附近富集明显；

⑧含金硫化物石英脉受断裂带结构面或微裂隙控制，脉壁平直，与两侧蚀变岩石界线清晰，成矿方式以充填成矿为主；

⑨断裂带旁侧围岩肉红色钾长石化（赤铁矿化）明显；

⑩主要由石英、金、多金属硫化物和分带性较好的构造蚀变岩组成。

4.3 金矿化富集典型标志及其控制因素

通过对矿区内产出的 m3 号、5 号、6 号、m0 号等主要含金硫化物石英脉富矿部位典型地质特征的调研，结合室内综合研究工作，金矿化富集的典型标志及其控制因素归纳为以下几个方面：

1．成矿阶段--石英硫化物阶段，以石英、黄铁绢英岩以及铜、铅、锌硫化物为典型标志；

2．成矿温度--中低温，除中温典型蚀变黄铁绢英岩化外，相对低温的松脂黄色闪锌矿常见；

3．矿物共生组合--石英、黄铁矿、黄铜矿、斑铜矿、闪锌矿和方铅矿；矿区化探样的 R 型聚类分析表明，Au 与 Cu 的相关性最为密切，斑铜矿，黄铜矿的出现及矿脉中的孔雀石化和辉铜矿化的出现，是铜金富集的典型标志；

4．特殊红化现象--含金硫化物石英脉旁侧出现强烈的钾长石化（赤铁矿化）；

5．剪应力强张应力弱、宽度不大的断裂裂隙带--延伸较远，充分分异，缓慢充填沉淀富集；

6．断裂裂隙带在倾斜延伸方向上，波状起伏的产状变化地段；

7．断裂裂隙带交汇复合及追踪复合部位；

8．构造蚀变岩与片麻岩接触带下盘结构面--分异完全，晚期残余的富金硫化物石英脉易于充填沉淀；

9．热液角砾岩筒中不规则状虚脱空间--经历早期强烈的交代作用后，晚期残余富集的含矿流体易于充填沉淀形成不规则状富金矿体。

4.4 矿床成因和成矿过程

4.4.1 矿床成因

从成矿物质来源上来说，矿区内燕山期岩浆岩的微量元素及硫、氢、氧同位素结果显示本区成矿物质、成矿流体及成矿所需热能均主要来自于岩浆，成矿与燕山期岩浆侵入活动关系密切[1]。尽管片麻岩中金含量相对地壳克拉克值有所偏高，但强度不大，目前还没有矿源层（成矿过程中有成矿元素被活化迁移进入成矿流体）这方面的典型直接证据，因而从这个意义上来说，燕山期岩浆岩是唯一的成矿母岩。

从控矿因素的分析来看:

对于深层次上成矿流体和成矿母岩的形成和演化而言，作为五台群绿岩带组成部分的具有较高金含量的本区片麻岩地层可以作为矿源层考虑。对于浅层次上矿体的形成和定位来说，燕山期岩浆岩是唯一的成矿母岩，片麻岩主要以其硬度大，性脆易开裂，在成矿前构造格局、燕山期构造应力场和岩浆活动热力场共同影响下，充当成矿期浅部领域内各种脆性控矿构造的良好围岩，同时在含矿流体的运移、聚集和定位过程中，充当良好的隔挡层。

燕山期岩浆不但提供了主要的成矿物质，而且伴随其浅部就位过程而形成的岩浆热力接触带体系对矿床（体）有明显的控制作用。矿床的形成和定位严格受岩浆侵位前锋地段和超覆构造体系的控制，矿脉基本上还是围绕岩体的周边就近产出，远离岩体的热力接触带体系，矿化逐渐变弱，无成型的工业矿体产出。

岩浆是沿深部较大规模的北西向张扭性断裂构造从南东向北西侵入的，北西向张扭性大断裂是矿区内主要的控岩和导矿构造，控制了岩浆热力接触带体系和矿床的形成和定位，其所产生的次一级近 SN 向和 NW 向断裂裂隙控制了主要含金石英脉带的产出，各种构造形迹的交汇部位则控制了角砾岩筒及其相关矿体的形成和就位。

综上所述可以看出，燕山期岩浆侵入活动是本区成矿的主导因素，带来了大量的成矿物质，是成矿的前提和基础；构造是成矿最重要的因素，控制了岩浆的侵入及其成矿岩体和矿体的形成和就位；地层则主要以其硬度大、性脆易开裂，充当成矿期浅部领域内发育各种脆性控矿构造的良好围岩，以及在含矿流体的运移、聚集和定位过程中，充当良好的隔挡层。

从成矿作用来看，本区的 3 个主要成矿阶段（矽卡岩镜铁矿阶段、石英硫化物阶段和碳酸盐阶段）以及其所形成的主要矿物组合（石榴子石、透辉石、绿泥石、绿帘石、阳起石、磁铁矿和镜铁矿——石英、自然金、黄铁矿、黄铜矿、斑铜矿、闪锌矿和方铅矿——方解石、石英、银金矿、闪锌矿和方铅矿）和典型结构构造（晶芽状、梳状、晶簇状、浸染状、网脉状构造—它形半自形自形粒状、交代残余、镶边、脉状交叉以及固融体分离结构）充分显示了岩浆热液成矿流体从早期到晚期，从高温到低温，从交代到充填的演化规律，同时也说明本区成矿作用以岩浆热液成矿作用为主。

从矿化产出的形式来看，无论是较大规模北西向张扭性断裂构造控制产出的构造蚀变岩型金矿、北北西向压—张扭性断裂裂隙构造控制产出的多金属硫化物石英脉型金矿还是热液角砾岩筒控制产出的不规则状隐爆角砾岩型金矿，具体的矿化产出形式均为含金硫化物石英脉体，是含矿流体沿构造裂隙控充填而形成的典型热液脉状矿体。

从围岩蚀变来看，典型的蚀变矿物组合为：矽卡岩化（石榴子石、透辉石、绿泥石、绿帘石和阳起石）——钾长石化（赤铁矿化）——硅化（石英）、绢云母化、黄铁矿化——高岭土化、绿泥石化、碳酸盐化（方解石），也显现了岩浆热液成矿流体从早期到晚期，从高温到低温，依次交代卸载的演化规律。

从成矿方式来看，含金硫化物石英脉受断裂带结构面或裂隙面控制明显，脉壁平直，与两侧岩石界线清晰；脉带内石英结晶分异程度良好，纯度和透明

度较好，常见晶芽状、梳状、晶簇状石英集合体；脉带中及其旁侧片麻岩中常穿插有石英细脉、方解石细脉以及硫化物细脉，充填矿化特征明显；成矿方式以充填成矿为主。

从成矿温度来看，前人对主要脉石及矿石矿物（包括：石英、黄铁矿、黄铜矿、闪锌矿、方铅矿）的包裹体爆裂法和均一法温度测定显示，主要矿物温度范围在 190－355℃，大多数处于 260－360℃之间，而金的成矿期温度在 300－200℃，属于中温区间[86]。本次工作对义兴寨矿区南部采集的化探样品进行了 R 型聚类分析，结果显示 Au 主要与 Cu 相关性密切在较高水平上聚为一类，其后再与 Ag、Zn、Sb、As、Hg 组合聚为一类，说明了金矿化主要在中温热液阶段，但在中温到低温的过渡阶段也有 Au、Ag 及铅锌的矿化产出。在矿区 950m 中段及 1070m 中段 5、6 号含金硫化物石英脉中，所见的大多数闪锌矿为明显的松脂黄色，也说明了在中温到低温的过渡阶段有金的产出。

综合以上分析可以得出，义兴寨金矿属典型的与燕山期中酸性岩浆侵入活动有关的中低温热液充填型石英脉型金矿床[87]。

4.4.2 成矿过程

在综合分析大地构造背景、矿床地质特征、控矿因素、成矿定位规律以及矿床成因的基础上，对本区的成矿过程阐述如下：

吕梁期区域应力场主压应力为北西-南东向，形成了北东东向褶皱构造和北西向横张断裂的构造格局；燕山期本区地壳运动以块断运动为主，在区域应力场的控制下，遭受了北西-南东向的强烈挤压，在早期北西向横张断裂的基础上，形成了切割较深的大规模北西向区域性张性大断裂（控岩和导矿构造）。在南北向一对力偶逆时针扭动作用下形成了一系列次一级别的规模较大的北西向张扭性断裂（配矿构造）。

燕山中晚期，在遭受区域应力场北西-南东向持续挤压的前提下，在 NW 向张扭性断裂切割组成的断块内，由于有张性扩容边界（较大的 NW 向张扭性断裂）的控制，以东西向顺时针剪切为主，断裂裂隙带的形成经历了明显的递进变形演化，形成了 NW--NNW--SN--NNE 向更次一级别的构造裂隙（容矿构造）。

北西向深大断裂沟通了深部的岩浆房，导致了本区大规模的岩浆侵入活动。岩浆侵入活动沿深部较大规模的北西向张扭性控岩断裂构造从南东向北西逐渐开始，伴随着岩浆的上升侵位和成岩演化，从早到晚、从南到北形成了不同类型的岩浆岩：浅成相中酸性闪长杂岩（包括石英二长闪长岩和石英闪长岩）--浅成相花岗斑岩--超浅成相或次火山岩相酸性岩（长石石英斑岩、石英斑岩）--酸性脉岩（石英斑岩脉、霏细斑岩脉和霏细岩脉）。同时，也形成了岩浆热力

接触带体系，包括岩体超覆构造体系和岩浆侵位的前锋地段。各种不同的岩浆岩是由深部统一的岩浆房在燕山期不同阶段依次分异上升侵位，在盖层构造的控制下而形成的不同的衍生物；其中矿区范围内出露的超浅成相或次火山岩相酸性岩是岩体侵位的前锋，是燕山期复式岩体成岩过程中最晚阶段的产物，是成矿最活跃的部位。

岩体冷凝就位以后，伴随着岩浆活动，从深部岩浆房分异出的大量含有挥发份和矿质的高压含矿流体沿多期活动的北西向深大断裂继续上升，在浅部构造的控制下，含矿流体沿断裂交汇部位快速运移，由于上覆围岩的束缚，造成内压积聚上升，同时由于含矿流体和上覆灰岩在较短时间内发生强烈的双交代作用，释放出大量的CO_2气体，使含矿流体体系的内压进一步加大，最终冲破上覆围岩的束缚，引起强烈的隐爆，形成了矽卡岩质胶结的热液角砾岩筒。

大量热液蚀变矿物卸载完成以后，晚期残留的成矿流体分异完全，形成了含金石英熔融体，一部分沿隐爆角砾岩筒边部的环状裂隙、放射状裂隙和内部发育的不规则状虚脱空间就位，形成受热液角砾岩筒控制产出的不规则状隐爆角砾岩型金矿体，其余大部分含金石英熔融体沿岩浆热力接触带体系范围内有利的构造裂隙充填就位，形成了延伸较远、相对较窄的受北北西向压-张扭性断裂构造控制产出的多金属硫化物石英脉型金矿体，以及延伸较短、相对较宽、局部富集的北西向张扭性断裂构造控制产出的构造蚀变岩型金矿体。

第五章 构造地球化学找矿预测

5.1 预测区位置、概况及工作布置

预测区位于矿区南部，处于铁塘硐和金鸡岭矽卡岩化角砾岩筒之间。测区为一长方形，面积 0.7km^2，东西向布置 6 条测线，线距 100m，线长 1400m，每条线 71 点。基线定在北边界，编号为 S1，其余按 100m 间隔依次往南编号。测点点距为 20m，从西往东依次编号为：0/S1、2/S1、4/S1、6/S1……。测区内具体的测线、测点布置情况如图 5-1 所示。

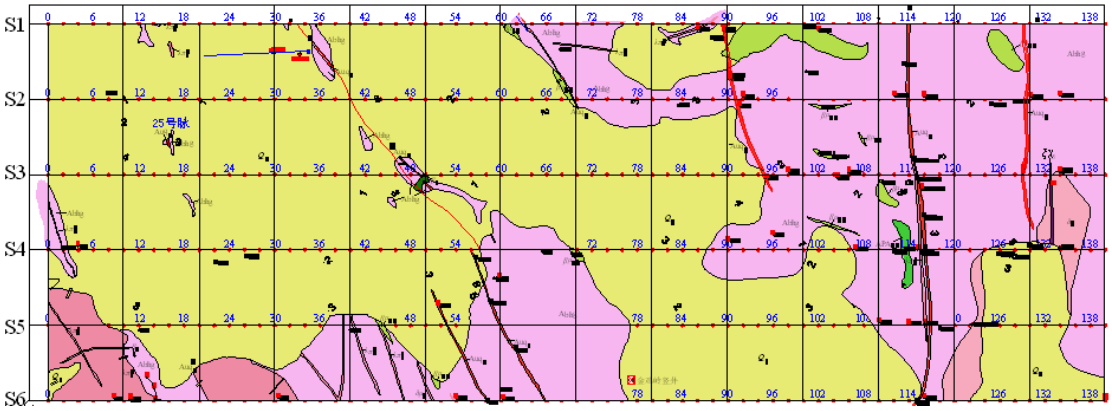


图 5-1 金鸡岭测区测线测点布置示意图

预测区整体处于 F4 和 F8 大断裂以及铁塘硐和金鸡岭矽卡岩化角砾岩筒之间，受岩浆热力接触带超覆构造体系和岩浆侵位前锋地段联合控制，区内各种构造裂隙和超浅成相酸性岩脉密集发育，属良好的勘查靶区，具有较好的找矿前景。

矿区出露的岩石以黑云角闪斜长片麻岩为主，其次为肉红色钾长石片麻岩、灰白色斜长石片麻岩、暗绿色绿泥石片麻岩以及中期石英岩和石英闪长岩，局部还有一些不同期次的岩浆岩脉产出，如闪长玢岩脉、辉绿岩脉、斜长角闪岩脉、变基性火山岩脉以及各种酸性岩脉等。地表可见的构造形迹以北西向和近南北向为主，规模较大的为 F4 断裂，其次为 F5 和一系列较小的北西向和近南北向断裂裂隙。

预测工作主要开展了以下四个方面的研究内容：

（1）地表矿化蚀变出露情况地质调查研究--调查和采集与矿化有关的各类地质找矿信息；

（2）构造地球化学探矿研究--圈定有利的构造地球化学多元素综合异常

带，为寻找深部隐伏矿脉的定位空间提供依据。

5.2 地表调查矿化蚀变出露情况

（1）114 号点附近矿化蚀变出露情况

脉带内见褐铁矿化、高岭土化、绢云母化、绿泥石化，中心为硫化物石英脉，宽 8-25cm。114/S1 见强褐铁矿化的石英脉，近南北向、产状陡立，宽约 3cm。114/S2 见一条走向约 352°，近乎直立，硫化物含量极高、几全褐铁矿化，宽约 15-25cm 的石英脉。在 116/S3 观察到的石英脉宽达 40-135cm，产状 265°∠77°；硫化物石英脉两侧围岩主要是角闪斜长片麻岩，褐铁矿化明显，有与石英脉平行产出的硫化物细脉，大多已全部褐铁矿化。

（2）90 号点附近矿化蚀变出露情况

脉带内见褐铁矿化、高岭土化、绢云母化、绿泥石化，中心为硫化物石英脉，大多宽在 10-15cm，硫化物石英脉两侧围岩主要是角闪斜长片麻岩，褐铁矿化明显，有与石英脉平行产出的硫化物细脉，大多已全部褐铁矿化（图 5-2）。

86/S1 见褐铁矿化中期石英岩脉；88/S1 块状硫化物石英脉，有民采坑走向 105°；90/S1 片麻岩中见一宽约 10-15cm 的硫化物石英脉，走向 350°，近乎直立。

92/S2 片麻岩中沿裂隙充填有宽约 2-5cm 含有硫化物（褐铁矿化）石英细脉；93/S2 附近有一宽约 20-40cm 的含矿石英脉通过（图 5-3），近南北走向，中心为一条含石英较少、80%以上均为硫化物（褐铁矿化）的石英硫化物脉，脉中仍可见原生的黄铁矿、团块状赤铁矿，沿近南北走向分布的一系列探槽、浅井、竖井中均见到此脉。



图 5-2 90/S2 民采坑中的块状硫化物石英脉



图 5-3 93/S2 北部探槽中块状硫化物

96/S3 以西 2m 处见一条宽约 8-10cm 的见褐铁矿化团块石英脉，产状 253°∠73°，两侧为石英，中间为硫化物，石英脉中见晶洞、晶簇、晶芽状石英；此点以南见两探槽，探槽中见一条块状硫化物石英脉，局部见石英晶簇；98/S3 片麻岩中见 4-10cm 的硫化物石英细脉，两侧围岩高岭土化、金云母化、绿泥石

化，旁侧除一般的片麻岩以外，还有具纹层构造的绿泥石化片麻岩。90/S4 北侧 12m 处绿泥石化片麻岩，局部见硫化物细脉。沿脉带有多处探槽、民硐和露头。

（3）F5 及其附近矿化蚀变出露情况



图 5-4 灰白色片麻岩中有硫化物团块，以黄铁矿为主（JJL-2）。



图 5-5 含有硫化物及石英团块的片麻岩，片麻岩中绿泥石、绿帘石化明显。硫化物以黄铁矿为主（JJL-3）。

脉带内见褐铁矿化、高岭土化、绢云母化、绿泥石化和硫化物石英脉（图 5-4、图 5-5），宽度 5-50cm，局部地段见原生的团块状和细脉状产出的黄铁矿、黄铜矿。硫化物石英脉两侧围岩主要是角闪斜长片麻岩，褐铁矿化明显，有与石英脉平行产出的硫化物细脉，大多已全部褐铁矿化，走向近 320°-343°，基本沿北西向 F5 断裂带充填。沿脉带有探槽、民硐和露头。

(4)130 号点附近采空区及矿化蚀变出露情况

脉带内见褐铁矿化、高岭土化、绢云母化、赤铁矿化片麻岩和硫化物石英脉，具一定的分带性，网脉状褐铁矿化强烈，硫化物石英脉出露不连续，大多被采空（图 5-6）。



图 5-6 134/ S2 采空区片麻岩中网脉状褐铁矿化

（5）F4 及西侧矿化蚀变出露情况

有民采竖井，废弃矿石显现出与 F8 断裂所控制的 m0 号矿脉极其相似的特征，应为受北西向 F4 断裂带控制的富金石英脉，分带性良好，可见较多的斑铜矿、黄铜矿，旁侧有变质辉绿岩脉，围岩为肉红色钾化片麻岩，构造蚀变岩中黄铁矿化、高岭土化、绿泥石化明显，有硫化物细脉穿插（图 5-7）。


G01-4 石英脉中绿泥石团块


G01-5 含绿泥石团块硫化物石英脉


G01-6 含硫化物细脉的变辉绿岩


G01-7 含细脉浸染状硫化物的构造蚀变岩


G01-1 钾化角闪斜长片麻岩


G01-2 含有石英硫化物脉片麻岩


G01-3 绿泥石化带中石英脉

图 5-7 F4 断裂的矿化蚀变

5.3 构造地球化学找矿研究

5.3.1 方法原理

构造地球化学是一门介于构造地质学与地球化学之间的边缘学科，是专门研究构造作用过程中化学元素的时空分布、演化规律和成因联系的科学。这一概念是由我国著名地质学家陈国达等[90]在研究构造与岩浆岩以及构造与矿床之间的关系时最早提出的。之后有一大批国内学者致力于这一学科的研究，使这一学科在理论深度和实践应用上都得到了长足的发展。国外学者虽然没有正式使用构造地球化学这一名称，但实际上也有一大批学者[91-100]在进行这方面的研究--岩石在力学作用过程中所伴随的地球化学作用。目前，构造地球化学主要是研究断裂变形带中成矿流体的疏运、反应和沉淀机制，这些研究与矿体定位预测有着直接的联系，是隐伏矿体定位预测的重要组成部分。

构造作用与地球化学作用是成矿过程中最主要的动力学作用，因而构造地球化学方法在隐伏矿床（体）的地球化学信息提取方面有着重要的作用。目前主要是利用成矿成晕的断裂构造地球化学规律，研究成矿过程中受构造控制的成矿元素的空间变化规律。由于成矿成晕构造中成矿元素的运移远比块状原岩

中容易，因而通过分析成矿成晕构造中的蚀变岩和脉岩就可以捕捉到较深层次的深部隐伏矿体在地表引起的微弱的地球化学异常，这种微弱的异常恰恰是块状原岩中很难捕捉到的而又对隐伏矿体预测具有重要意义的深部地球化学信息。

5.3.2 元素统计分布特征

在金鸡岭预测区的基岩出露部位，以与成矿有关的各种断裂裂隙中的蚀变岩和脉岩为主要研究对象，从 S1 线-S6 线进行构造地球化学取样分析，取样点大多位于测线上或其附近，共取得 235 件构造地球化学样品，对其进行了多元素地球化学测试分析，分析元素 12 个，包括 Cu，Pb，Zn，Au，Ag，Hg，Sb，As，Sn，Mo，Bi 和 Mn，样品测试由桂林矿产地质研究院测试中心完成，各指示元素的数据统计结果见表 5-1。

一般来说，各种成矿作用、构造作用和地球化学作用是造成各类岩石中元素分布高度不均匀性的主要原因。某元素的标准离差和变异系数越大，说明该元素在该区域内分布越不均匀，越容易在局部地段趋向于富集，成矿可能性也越大。而富集系数是表示元素相对于地壳丰度的富集程度，其值越高，表明该元素越富集，越有利于在该区域内优先成矿。

预测区内所有岩石样品中变异系数大于 2 的元素有 Mo、Bi、Cu、Pb、Au、Ag、As，说明这些元素有成矿的可能性。

通过富集系数可以看出，整个测区的 Bi、Pb、Au、Ag、As 的含量明显比地壳丰度高很多， Bi 含量是地壳丰度的 222.5 倍，Pb 是地壳丰度 5.71 倍，Au 是地壳丰度 17.5 倍，Ag 是地壳丰度 6.13 倍，As 是地壳丰度 4.48 倍，因此本区除了 Au 以外，Bi、Pb、Ag、As 也很有成矿前景。

Au 含量的均值为 0.07×10^{-6}，大大高于地壳克拉克值 0.004×10^{-6}，变异系数为 5.59，富集系数为 17.5，结合已有工程揭露情况，可以表明本区发生过金的成矿作用，是找矿的良好靶区。

表 5-1 构造地球化学样品分析结果统计表 **单位：$\omega_B/10^{-6}$**

元素	Mn	Sn	Mo	Bi	Cu	Pb	Zn	Au	Ag	Hg	Sb	As
最小值	132	0.4	0.17	0.1	3	3.7	17	0.0001	0.023	0.007	0.19	0.33
最大值	7000	35.8	1000	26.31	2000	2000	1100	5	5	0.124	6.32	641.39
平均值	592.94	1.66	2.39	0.89	52.20	68.56	101.82	0.07	0.49	0.02	0.58	9.85
标准离差	782.94	3.02	9.91	2.43	141.37	212.12	171.97	0.374	1.17	0.01	1.04	48.02
变异系数	1.32	1.82	4.14	2.73	2.71	3.09	1.69	5.59	2.40	0.54	1.78	4.87
地壳丰度	1300	1.7	1.3	0.004	63	12	94	0.004	0.08	0.089	0.6	2.2
富集系数	0.46	0.98	1.84	222.5	0.83	5.71	1.08	17.5	6.13	0.22	0.97	4.48

测试单位：桂林矿产地质研究院测试中心

5.3.3 元素相关性及聚类分析

5.3.3.3 相关分析

为揭示成矿元素金与其它指示元素之间的相关性，对金鸡岭预测区 235 件构造地球化学样品的测试数据进行了相关分析，结果见表 5-2。

表 5-2 Au 与各微量元素相关系数表

样品名称(数量)	Mn	Sn	Mo	Bi	Cu	Pb	Zn	Ag	Hg	Sb	As
角闪斜长片麻岩(103 件)	-0.03	0.36	0.19	0.41	0.13	0.14	-0.05	0.34	0.02	0.27	0.24
钾长石片麻岩(16 件)	0.14	0.22	0.41	0.68	0.38	0.11	0.41	0.55	0.51	0.00	0.11
斜长石片麻岩(17 件)	-0.09	0.00	-0.03	-0.03	0.28	0.87	0.52	0.86	0.09	0.49	0.52
绿泥石片麻岩(16 件)	-0.17	0.29	0.11	0.97	0.71	-0.02	-0.04	0.73	0.53	0.15	0.99
中期石英岩(19 件)	0.05	-0.03	-0.03	0.59	0.13	-0.03	-0.20	-0.12	-0.27	0.05	0.22
石英闪长岩(12 件)	-0.18	-0.01	-0.12	0.85	-0.18	-0.28	-0.24	0.15	0.77	0.03	0.16
硫化物石英脉(22 件)	0.52	0.08	0.11	0.27	0.34	0.25	0.44	0.41	0.27	0.42	0.11
平均	0.18	0.14	0.09	0.38	0.87	0.09	0.42	0.44	0.09	0.26	0.10

测试单位: 桂林矿产地质研究院测试中心

由表 5-2 可以看出：

（1）用所有样品的数据分析，Au 与 Bi、Cu、Zn、Ag、Sb 等元素的相关性较好；

（2）在角闪斜长片麻岩中，Au 与 Sn、Bi、Ag、Sb 等元素相关性较好；

（3）在钾长石片麻岩中，Au 与 Mo、Bi、Cu、Zn、Ag、Hg 等元素相关性较好；

（4）在斜长石片麻岩中，Au 表现出与 Cu、Pb、Zn、Ag、Sb、As 等元素相关性较好；

（5）在绿泥石片麻岩中，Au 与 Sn、Bi、Cu、Ag、Hg、As 等元素相关性较好；

（6）在中期石英岩中，Au 与 Bi、Cu、As 等元素相关性较好；

（7）石英闪长岩中，Au 与 Bi、Hg 相关性好；

（8）硫化物石英脉中，Au 与 Mn、Cu、Zn、Ag、Sb 相关性好。

以上分析结果显示，本区 Au 主要与 Bi、Cu、Zn、Ag 等元素有较高的相关性，特别是 Cu，它在各类岩石中均表现出与 Au 的良好的相关性。因此 Bi、Cu、Zn、Ag 等元素可作为本区 Au 矿化的指示元素。

5.3.3.2 聚类分析

聚类分析是根据样品的测试数据，将样品或指标（变量）看成多维空间中的点，运用样品或指标（变量）相似统计量，将相似程度高的样品或指标（变量）归为最相似的一小类中，相似程度较低的归为大类中，直到把所有样品或指标（变量）聚类完毕。

对样品进行 R 型聚类分析（数据标准化；相关系数；最长距离法），可以了解地球化学原生晕中成矿元素与其它指示元素之间的组合情况，本区构造地球化学样品测试数据的聚类分析结果如图 5-8 所示。

从中可以看出：在 r>0.8 的聚类水平上，元素组合有 3 组：Cu、Au→Zn、Sb→Mo、Sn；在 r>0.7 的水平上，元素组合有 3 组：Cu、Au→Zn、Sb、Ag→Mo、Sn；在 r=0.5 左右，可以分为 3 组： Sn、Mo 、Pb→Cu、Au→Ag、Zn、Sb、As、Hg，基本上显示了高中低温的组合类型；在 R 型聚类分析谱系图上，Bi、Pb、Mn 等元素明显与其它元素组合分离，表现出很强的独立性特征。

通过聚类分析结果，可以得出与成矿元素金关系最密切的指示元素是 Cu，对应的高中低温指示元素的组合类型依次为：Sn、Mo→Cu、Au→Ag、Zn、Sb、As、Hg。

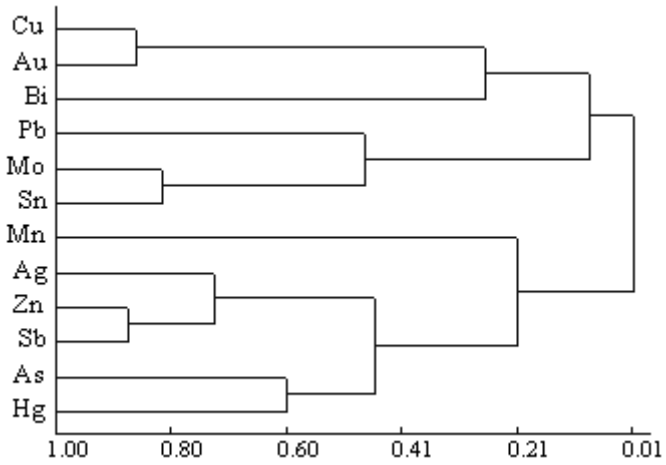


图 5—8 R 型聚类分析谱系图

5.3.4 异常特征及其评价

根据聚类分析提取出的指示元素组合特性，将本区指示元素分为高、中、低温三个组合：高温 Sn-Mo 组合、中温 Cu-Au 组合、低温 Zn-Ag-Hg-Sb-As 组合。结合本区的找矿实践，进一步提取出 Cu-Au-Zn-Ag 作为本区构造地球化学探矿的直接指示元素组合。通过对不同指示元素组合进行综合指数计算、计算机成图以及异常特征分析，结合典型地质依据，为本区找矿预测提供地球化学依据。

本次工作共圈出 18 个 LgSnMo 构造地球化学异常，17 个 LgCuAu 构造地球化学异常，16 个 LgSbZnAgHgAs 构造地球化学异常，异常特征及其分布见图 5-9、图 5-10、图 5-11 和表 5-3、表 5-4、表 5-5。

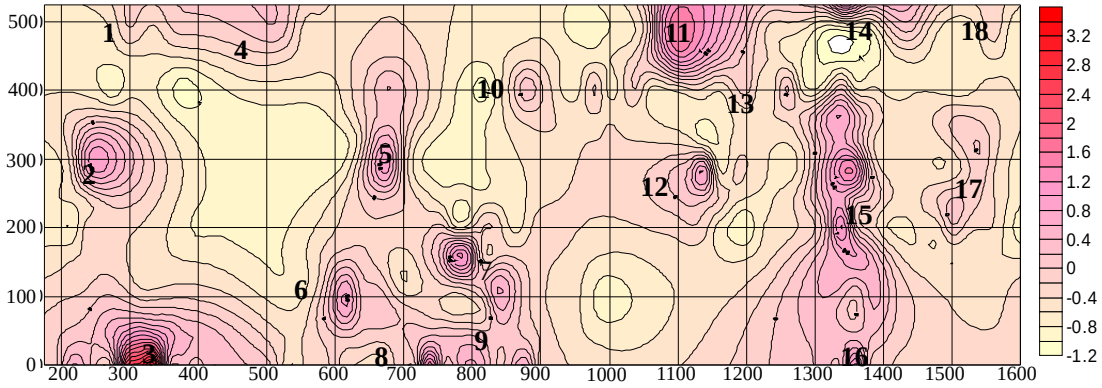


图 5—9 山西省义兴寨金矿金鸡岭测区 LgSnMo 化探平面图

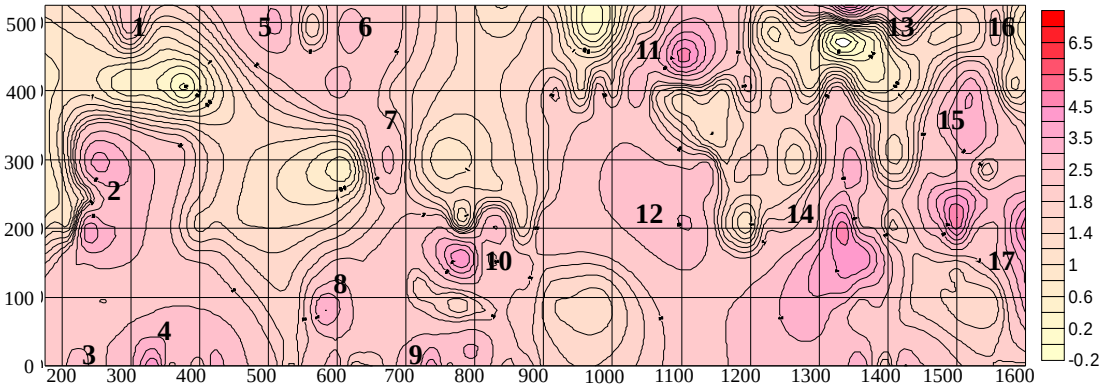


图 5-10 山西省义兴寨金矿金鸡岭预测区 LgCuAu 化探平面图

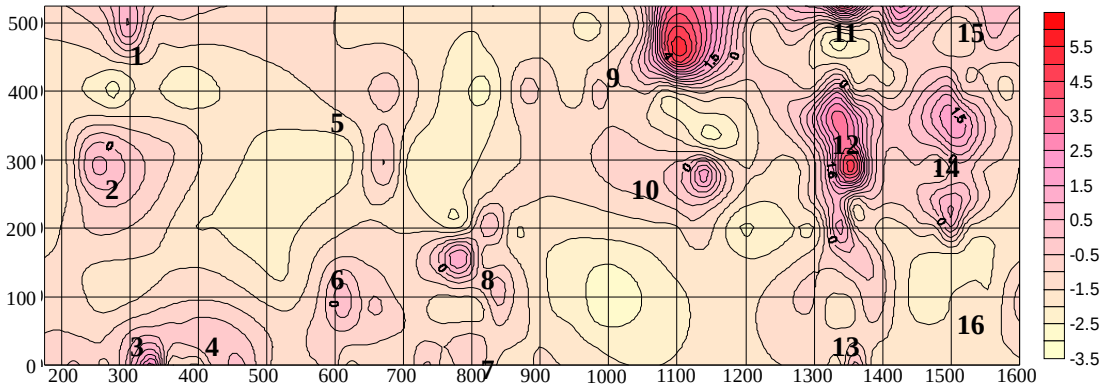


图 5—11 山西义兴寨金矿金鸡岭预测区 LgSbZnAgHgAs 化探平面图

5-3 山西义兴寨金矿金鸡岭预测区 LgSnMo 异常特征表

序号	范围	异常形状、强度及含量
1	9/S1	以 9/S1 为中心的椭圆状异常,异常值(即 lgSnMo 综合指数值)为 0.1。
2	4/S3	以这两点异常为中心形成椭圆状异常，其中 3/S4 异常值为 1.6，Sn 含量 7.7×10^{-6}，Mo5.13$\times10^{-6}$。
3	11/S6-15/S6	以 14/S6 点为中心形成小椭圆状异常，14/S6 异常值 3.2，Sn 含量 16.0$\times10^{-6}$，Mo100$\times10^{-6}$。
4	32/S1	以 32/S1 为中心的半椭圆状异常，异常值为 0.4，Sn 含量 2.4×10^{-6}。
5	48/S2、48/S3	以 48/S3 为中心的椭圆状异常,48/S3 异常值 1.8,Sn 含量 2.7×10^{-6}，Mo24.8$\times10^{-6}$。
6	41/S5-42/S5	以这两点为中心形成近圆状异常，41/S5 异常值 3.6，Sn 含量 35.8$\times10^{-6}$，Mo100$\times10^{-6}$。
7	F5/S4-64/S5	以 F5/S4 及 64/S5 为中心的哑铃状异常，F5/S4 异常值 2.2,Sn 12.4$\times10^{-6}$，Mo13.27$\times10^{-6}$；64/S5 异常值 1.8，Sn 3.0$\times10^{-6}$，Mo21.87$\times10^{-6}$。
8	54/S6-58/S6	以 54/S6、58/S6 为中心形成半圆状异常， 54/S6 异常值 1.8。
9	68/S6	以 68/S6 为中心的半椭圆状异常，异常值 0.6，Sn 含量 2.0×10^{-6}，Mo2.17$\times10^{-6}$。
10	68/S2	以 68/S2 为中心的圆状异常，异常值 0.2，但 Sn 含量 2.9×10^{-6}。
11	88/S1 ， 89/S1 ，93/2/S2	以 89/S1 点为中心形成椭圆状异常， 88/S1 点异常值 1.7， Sn 含量 6.0$\times10^{-6}$，Mo8.11$\times10^{-6}$；89/S1 点异常值 1.8， Sn 含量 6.2$\times10^{-6}$，Mo11.3$\times10^{-6}$； 93/2/S2 点异常值 1.1， Sn 含量 2.9×10^{-6}，Mo4.43$\times10^{-6}$。
12	96/1/S3	以 96/1/S3 为中心的椭圆状异常，96/1/S3 异常值 1.5，Sn 含量 9.3$\times10^{-6}$，Mo3.23$\times10^{-6}$。
13	106/S2	以 106/S2 为中心的椭圆状异常，异常值 0.2， Sn 含量 2.6×10^{-6}。
14	114/1/S1、122/S1	以 114/1/S1、122/S1 为中心椭圆状异常，其中 114/1/S1 异常值 1.4，Sn 含量 7.9×10^{-6}，Mo3.25$\times10^{-6}$。
15	116/1/S3-114/S4	以这两点为中心形成带状异常，116/1/S3 异常值 2.0， Sn 含量 4.0$\times10^{-6}$,Mo27.6$\times10^{-6}$;114/S4 异常值 1.3， Sn 含量 2.2×10^{-6},Mo9.66$\times10^{-6}$。
16	116/S6	以 116/S6 为中心的半椭圆状异常，异常值 1.6，Sn 含量 2.5×10^{-6}，Mo8.59$\times10^{-6}$。
17	134/1/S3-130/S4	以这两点为中心的椭圆状异常,134/1/S3 异常值 0.5，Mo2.32$\times10^{-6}$；130/S4 异常值 0.6， Sn 含量 2.8×10^{-6}，Mo1.56$\times10^{-6}$。
18	136/S1	以 136/S1 为中心形成的半椭圆状异常，136/S1 异常值 0.3，Sn 含量 2.2×10^{-6}。

表 5-4 山西义兴寨金矿金鸡岭测区 LgCuAu 异常特征表

序号	范围	异常形状、强度及含量
1	9/S1	以 9/S1 为中心的异常呈半椭圆状，9/S1 异常值(即 lgCuAu 综合指数值)3.0， Cu 含量 224.4×10^{-6}，Au4.13×10^{-9}。
2	4/S3-3/S4	以这两点为中心的哑铃状异常，4/S3 异常值 4.5，Au 含量 155.7×10^{-9}，Cu186.7×10^{-6}；3/S4 异常值 4.1，Au 含量为 393.9×10^{-9}。
3	2/S6	以此点为中心形成小半圆状异常。
4	14/S6、22/S6	以这两点为中心形成半椭圆状异常，其中 14/S6 异常值 4.5，Au 含量 552.8×10^{-9}。
5	32/S1	以 32/S1 为中心形成近圆状异常，异常值 3.5，Au 含量 393.9×10^{-9}。
6	40/S1-40/S2	以 40/S1、40/S2 为中心形成椭圆状异常；40/S2 Au 含量为 6.25×10^{-9}，Cu 含量较高为 78.4×10^{-6}。
7	48/S3	以 48/S3 为中心的椭圆状异常，Au29.12×10^{-9}，Cu 含量 108.7×10^{-6}。
8	38/S5-40/S6	以 38/S5、40/S6 为中心的链状异常。
9	54/S6、58/S6	以 54/S6、58/S6 为中心的半椭圆状异常，54/S6Au436.7×10^{-9}。
10	57/2/S4、F5/S4-62/2/S4	以 F5/S4 及 62/2/S4 两个中心的哑铃状异常，F5/S4 异常值 5.4，Au714.2×10^{-9}，Cu346.4×10^{-6}；62/2/S4 异常值 3.0，Au32.28×10^{-9}。
11	88/S1、89/S1-93/2/S2	以 93/2/S2 点为中心形成圆状异常，93/2/S2 异常值 5.2，Au1117.9×10^{-9}，Cu149.6×10^{-6}。
12	90/S4	以 90/S4 为中心圆状异常。
13	114/1/S1、122/S1	以 114/1/S1、122/S1 为中心的哑铃状异常，114/1/S1 异常值 5.9，Au2053.5×10^{-9}，Cu347.3×10^{-6}；122/S1 异常值 4.0，Au254.1×10^{-9}。
14	114/S2-116/1/S3 、116/2/S3-114/S4 、116/1/S4 、116/2/S4-114/S5	以 114/S4、116/1/S3 为中心的近南北向带状异常，116/1/S3 异常值 3.8，Au90.57×10^{-9}，Cu70.1×10^{-6}；116/2/S3 异常值 3.4，Au186.5×10^{-9}，Cu12.7×10^{-6}；114/S4 异常值 4.8，Au117.2×10^{-9}，Cu524.1×10^{-6}；116/2/S4 异常值 4.8，Au364.6×10^{-9}，Cu158.2×10^{-6}。
15	130/S2 、132/S2-130/2/S3-130/S4	以 130/2/S3、130/S4 为中心的哑铃状异常，130/S2 异常值 2.8，Au16.13×10^{-9}；132/S2 异常值 3.7，Au36.73×10^{-9}，Cu127.9×10^{-6}；130/2/S3 异常值 3.8，Au95.37×10^{-9}；130/S4 异常值 7.0，Au5000×10^{-9}，Cu2000×10^{-6}。
16	136/S1	以 136/S1 为中心的半椭圆状异常，136/S1 异常值 3.0，Au27.66×10^{-9}。
17	140/S4	以 140/S4 为中心的近半圆状异常，140/S4 异常值 4.9，Au 1311.9×10^{-9}。

表 5-5 山西义兴寨金矿金鸡岭预测区 lgSbZnAgHgAs 异常特征表

序号	范围	异常形状、强度及含量
1	9/S1	以 9/S1 为中心的半椭圆状异常， 9/S1 异常值(即 lgSbZnAgHgAs 综合指数值)为 2.8，Zn，Ag 含量分别为 237×10^{-6}，2.283×10^{-6}。
2	4/S3	以 4/S3 为中心的圆状异常，异常值 1.4，Ag5×10^{-6}。
3	14/S6	以 14/S6 为中心的半椭圆状异常，异常值 2.6，Ag 5×10^{-6}。
4	26/S6	以 26/S6 为中心的半圆状异常。
5	48/S2、48/S3	以 48/S2、48/S3 为中心的带状异常。
6	41/S5、46/S5	以 41/S5 为中心的椭圆状异常， 41/S5 异常值 3.8，Zn601×10^{-6}，Ag4.757×10^{-6}均较高。
7	54/S6、58/S6	以 54/S6、58/S6 为中心半椭圆状异常，异常值低，但 Zn 最高为 109×10^{-6}。
8	57/1/S4、F5/S4、64/S5	以 F5/S4 为中心的圆状异常，F5/S4 异常值 2.7， Ag5×10^{-6} 含量极高。
9	88/S1、89/S1、93/2/S2	以 93/2/S2 点为中心形成椭圆状异常， 88/S1 异常值 4.9，Ag5×10^{-6}，Zn1100×10^{-6}均极高；89/S1 异常值 5.2，Ag5×10^{-6}和 Zn1100×10^{-6}极高； 93/2/S2 异常值 5.1，Ag5×10^{-6}，Zn1100×10^{-6}含量均极高。
10	96/1/S3	椭圆状异常，异常值 3.6，Ag1.594×10^{-6}，Zn311×10^{-6}均较高。
11	114/1/S1、122/S1	以 114/1/S1、122/S1 为中心半椭圆状异常，114/1/S1 异常值 5.1，Ag5×10^{-6}，Zn1100×10^{-6}含量均极高；122/S1 异常值 4.7，Ag5×10^{-6}，Zn634×10^{-6}。
12	114/S2-116/1/S3 、116/2/S3-114/S4-118/S5	以 116/1/S3、116/2/S3 为中心的近南北向带状异常，116/1/S3 异常值 6.3，Ag5×10^{-6}，Zn 1100×10^{-6}；116/2/S3 异常值 4.1，Ag5×10^{-6}，Zn121×10^{-6}；114/S2 异常值 4.9，Ag5×10^{-6}，Zn 640×10^{-6}。
13	116/S6、122/S6	以 116/S6、122/S6 为中心的小椭圆状异常。
14	130/2/S3-130/S4	以 130/2/S3、130/S4 为中心的哑铃状异常，130/2/S3 异常值 3.0，Ag0.846×10^{-6}，Zn110×10^{-6}；130/S4 异常值 3.1，Ag5×10^{-6}，Zn740×10^{-6}含量均极高。
15	136/S1	以 136/S1 为中心的半椭圆状异常,异常值 3.6,Zn177×10^{-6}。
16	140/S5	以 140/S5 中心的半椭圆状异常。

在此基础上圈定了 17 个 lgCuAuZnAg 构造地球化学综合异常，综合异常特征、分布地段及其典型地质依据见图 5-12 和表 5-6 所示，后续的异常分析评价主要是以 lgCuAuZnAg 构造地球化学综合异常来进行的。通过分析综合异常的空间分布、异常特征以及异常所在区段的典型地质特征，发现了本区构造地球化学异常具有如下的规律性。

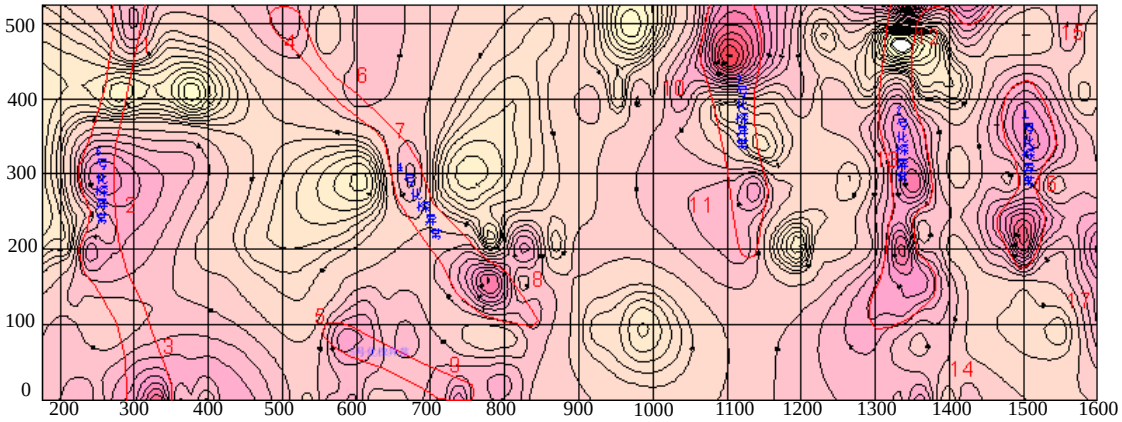


图 5-12　山西义兴寨金矿金鸡岭测区 lgCuAuZnAg 化探平面图

表 5-6　山西义兴寨金矿金鸡岭测区 lgCuAuZnAg 综合异常特征表

序号	位置	异常形状、强度及含量	地质特征
1	9/S1	以 9/S1 为中心的半椭圆状异常，异常值(即 lgCuAuZnAg 综合指数值)为 5.7，Au 含量 4.13×10^{-9}较低，Cu，Pb，Zn，Ag 含量较高，分别为：224.4×10^{-6}，178.4×10^{-6}，237×10^{-6}，2.283×10^{-6}。	9/S1 为黄铁矿化中期石英岩出露点，中期石英岩中见晶形完好呈立方体的黄铁矿，但大多已褐铁矿化。
2	4/S3-3/S4	以这两点为中心形成椭圆状异常，4/S3 异常值 6.6,Au 含量 155.7×10^{-9}，Cu186.7×10^{-6}，Ag5×10^{-6}；3/S4 异常值 4.9，Au 含量为 393.9×10^{-9}。	4/S3 为长石石英斑岩出露点，见黄铁矿细脉，90%以上黄铁矿已褐铁矿化，新鲜面见黄铁矿与石英晶洞，局部见紫红色粉晶-细晶质硅质团块呈不规则状分布；3/S4 处为高岭土化长石石英斑岩。
3	8/S6-15/S6	以 14/S6 点为中心形成小椭圆异常，14/S6 异常值 6.8，Au 含量 552.8×10^{-9}，Ag 含量 5×10^{-6}。	14/S6 为绢云母化高岭土化片麻岩，见褐铁矿化硫化物细脉，剪切破碎带通过处。
4	32/S1	以此点为中心形成小椭圆异常，32/S1 异常值 4.1，Au 含量 393.9×10^{-9}。	32/S1 为中期石英岩出露点，以粉细石英为主，见细脉浸染状黄铁矿。
5	38/S5、41/S5	以 41/S5 为中心圆状异常，41/S5 异常值 7.5，Au 含量不高为 36.73×10^{-9}，但 Cu307.2×10^{-6}，Pb1704.9×10^{-6}，Zn601×10^{-6}，Ag4.757×10^{-6}均高。	38/S5 见含硫化物褐铁矿化角闪斜长片麻岩；41/S5 为强褐铁矿化的片麻岩（附近有 3 个平行探槽）。
6	40/S1-40/S2	近矩形异常，40/S1 异常值 3.3，Au 含量 6.63×10^{-9}，Cu 含量较高为 97.3×10^{-6}；40/S2 异常值 3.2，Au 含量为 6.25×10^{-9},Cu 含量较高为 78.4×10^{-6}。	40/S1 为强风化角闪斜长片麻岩出露点；40/S2 为褐铁矿化金云母化角闪斜长片麻岩，见硫化物细脉穿插。
7	48/S3	小椭圆异常，48/S3 异常值 5.0，Au29.12×10^{-9}，Cu 含量 108.7×10^{-6}。	该点见高岭土化、绿泥石化、钾化片麻岩，旁侧有一探槽。

序号	位置	异常形状、强度及含量	地质特征
8	57/1/S4、57/2/S4、F5/S4、62/2/S4	以 F5/S4 及 62/2/S4 为中心的哑铃状异常； 57/1/S4 1 异常值 5.5，Au 含量 29.88×10^{-9}低，Ag 含量 5×10^{-6}极高； 57/2/S4 异常值 5.3，Au151.7×10^{-9}； F5/S4 异常值 7.8，Au714.2×10^{-9}，Cu346.4×10^{-6}，Ag5×10^{-6}含量均高； 62/2/S4 异常值 4.8，Au32.28×10^{-9}，Ag1.249×10^{-6}。	57/2/S4 为石英脉出露点，宽约 60-70cm，裂隙发育，在裂隙面见硫化物细脉，局部褐铁矿化；F5/S4 为 F5 断层通过处，见硫化物细脉充填，宽约 5cm；62/2/S4 为风化角闪斜长片麻岩。
9	54/S6、58/S6	以 54/S6 及 58/S6 为中心的哑铃状异常； 54/S6 异常值 5.7，Au436.7×10^{-9}，Pb102 ×10^{-6}，Zn109×10^{-6}； 58/S6 异常值 5.5，Au274.5×10^{-9}，Pb105.7×10^{-6}。	54/S6 为闪长玢岩与片麻岩接触带，其间有网格状褐铁矿化细脉穿插，褐铁矿化细脉宽 1-2mm；58/S6 在沟底，为一民采场，该点有一走向 332^0 的石英脉，其旁侧为高龄土化的片麻岩，见与石英脉产状相同的硫化物细脉穿插。
10	88/S1、89/S1 – 93/2/S2	以 93/2/S2 点为中心椭圆状异常； 93/2/S2 异常值 9.0，Au1117.9×10^{-9}，Cu149.6×10^{-6}，Pb717.6×10^{-6}，Ag5×10^{-6}，Zn1100×10^{-6}含量均极高；88/S1 异常值 6.4，Au2.22×10^{-9}低，Cu188.6×10^{-6}，Pb2000×10^{-6}，Ag5×10^{-6}，Zn1100×10^{-6} 均极高；89/S1 异常值 6.9，Au 含量 33.99×10^{-9}不高，Ag5×10^{-6}和 Zn1100×10^{-6}极高。	88/S1 以南约 18m 处见一民采坑，见块状硫化物石英脉；89/S1 为一探槽，见一宽约 10-15cm 的块状硫化物石英脉；93/S2 见宽约 20cm-40cm 的含矿石英脉通过，近南北走向，80%以上均为硫化物，大多已褐铁矿化，石英脉中仍可见原生黄铁矿，赤铁矿呈不规则状团块分布其中。
11	96/1/S3	以此点为中心的椭圆状异常，96/1/S3 异常值 6.2，Au 含量 30.66×10^{-9}不高，Cu102.4 × 10^{-6}， Pb175.7 × 10^{-6}，Ag1.594×10^{-6}，Zn311×10^{-6}均较高。	取样点为一探槽处，见块状硫化物石英脉，局部见石英晶簇，片麻岩中有硫化物细脉，褐铁矿化明显。
12	114/1/S1、114/S2	以 114/1/S1 为中心的条状异常； 114/1/S1 异常值 9.6，Au2053.5×10^{-9}，Cu347.3×10^{-6}，Pb368.6×10^{-6}，Ag5×10^{-6}，Zn1100×10^{-6}含量均极高；	114/S1 为一民采小坑道出露点，见强褐铁矿化的石英脉，近南北走向产状陡立，宽约 3cm；114/S2 出露宽约 15-25cm 褐铁矿化硫化物石英脉，走向 3520，倾角近乎直立，硫化物含量极高，采样为块状硫化物石英脉及钾化片麻岩组合样。

序号	位置	异常形状、强度及含量	地质特征
13	116/1/S3、116/2/S3 – 114/S4、116/2/S4 – 114/S5	以 116/1/S3、114/S4 为中心的近南北向带状异常，116/1/S3 异常值 7.5，Au90.57×10^{-9}，Ag5×10^{-6}，Zn 1100×10^{-6}；116/2/S3 异常值 6.2，Au186.5×10^{-9}，Ag5×10^{-6}，Zn121×10^{-6}；114/S4 异常值 6.9，Au117.2×10^{-9}，Cu524.1×10^{-6}，Ag2.753×10^{-6}；116/2/S4 异常值 5.7，Au364.6×10^{-9}，Cu158.2×10^{-6}；114/S5 异常值 4.9，Au105.7×10^{-9}，Cu78.2×10^{-6}，Zn106×10^{-6}。	116/S3 为探槽出露点，其中见褐铁矿化块状硫化物；112/S4-116/S4 见绿泥石化片麻岩，其中有褐铁矿化石英脉；114/S5 处为黑云母角闪斜长片麻岩，见网格状褐铁矿化硫化物细脉穿插。
14	116/S6	半椭圆状异常，116/S6 异常值 4.9，Au26.27×10^{-9}，Cu112.5×10^{-6}。	116/S6 处见褐铁矿化石英脉。
15	136/S1	半椭圆状异常，136/S1 异常值 5.0，Au27.66×10^{-9}，Cu37.1×10^{-6}，Zn177×10^{-6}。	该点处灰白色高岭土化片麻岩中见褐铁矿化硫化物脉。
16	130/S2、132/S2 – 130/2/S3、132/S3 – 130/S4	以 130/S2、130/2/S3、130/S4 为中心带状异常；130/S2 异常值 5.0，Au16.13×10^{-9}，Pb164×10^{-6}，Ag0.921×10^{-6}，Zn151×10^{-6}；132/S2 异常值 4.5，Au36.73×10^{-9}，Cu127.9×10^{-6}；130/2/S3 异常值 6.2，Au95.37×10^{-9}，Pb172.1×10^{-6}；132/S3 异常值 5.8，Au54.08×10^{-9}，Cu125.5×10^{-6}，Ag0.846×10^{-6}，Zn110×10^{-6}；130/S4 异常值 10.6，Au5000×10^{-9}，Cu2000×10^{-6}，Pb103.2×10^{-6}，Ag5×10^{-6}，Zn740×10^{-6}含量均极高。	130/S2 点往东约 2m 处为一走向近南北的采空区，采样为褐铁矿化片麻岩；132/S2 为含硫化物细脉的片麻岩；130/2/S3 为一采空区，见网状硫化物细脉有明显分带性依次为：1 石英脉；2 绢云母化带；3 高岭土-赤铁矿化混合带；4 网格状黄铁矿细脉；132/S3 为褐铁矿化强烈的黑云母角闪斜长片麻岩；130/S4 为角闪斜长片麻岩，旁侧一探槽有一宽约 4cm、呈深绿色的绿泥石化矽卡岩脉出露。
17	140/S4	以 140/S4 中心的近半圆状异常，140/S4 异常值 5.8，金含量 1311.9×10^{-9}。	该点为绿泥石化角闪斜长片麻岩。

据异常的套合程度（图 5-13），lgCuAuZnAg 综合异常与高、中、低温（LgSnMo-LgCuAu-LgSbZnAgHgAs）异常以及金含量异常，在等值线图上重合性非常高，一方面说明了异常带的可靠性，另一方面也说明本区的成矿流体主要沿较窄的构造裂隙充填形成，对周边围岩的扩散作用不强，高、中、低温组合分离性不大，不具典型的头晕、中间晕和尾晕。

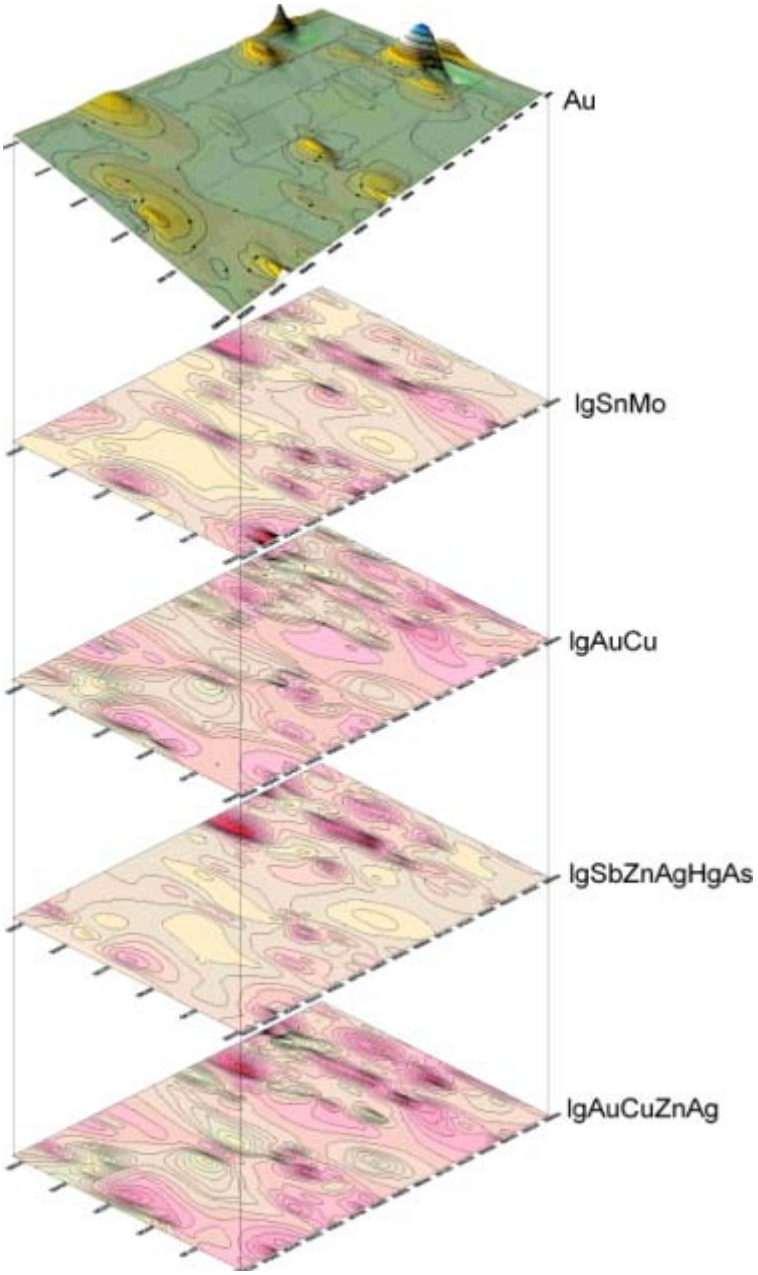


图 5—13 构造地球化学综合异常图

从异常的空间分布来看，测区内异常主要呈近南北向和北西向两个方向展布。近南北向异常带主要集中在测区的东部，分别位于 90 号点、114 号点和 130 号点附近。90 号点异常带主要由 10 号和 11 号异常组成，异常中心轴线为 89/S1-93/S2-96/S3 连线；114 号点异常带主要由 12 号、13 号和 14 号异常组成，异常中心轴线为 114/1/S1、114/S2-116/1/S3、116/2/S3-114/S4、116/2/S4-114/S5 连线;130 号点异常带主要由 16 号带状异常组成，异常中心轴线为 130/S2 、 132/S2-130/2/S3 、132/S3-130/S4 连线。北西向异常带主要集中在测区的中部，大致可以分为两个异常带，较大的一条由 4 号、6 号、7 号、8 号异常组成，贯穿了整个测区，主要沿 F5 断裂带延伸，异常中心轴线为 32/S1-40/S2-48/S3-57/S4；较小的一条由 5 号和 9 号异常组成，主要分布在 5 线和 6 线的 35-60 号测点附近，异常中心轴线为 38/S5、41/S5-54/S6、58/S6。其余 1、2、3、15、17 号异常均表现为点状异常，分布于测区的东西两侧，从趋势上看，1、2、3 号异常似乎有近南北向相连的趋势，异常中心轴线大致为 9/S1-4/S3-3/S4-8/S6-15/S6，可能是由于黄土覆盖取不到代表性的样品造成了异常的分离。这种异常展布规律实际上是受构造控制的，异常展布的方向也反映了测区主要的构造走向。

据异常的组合特征，大致可以将其归为六个异常带，典型异常及其地质特征分述如下：

1 号异常带--130 号点南北向异常带

异常值(即 lgCuAuZnAg 综合指数值)最高为 10.6,金含量最高为 5000×10^{-9}，Ag、Cu、Pb、Zn 最高含量依次为 5×10^{-6}、2000×10^{-6}、172.1×10^{-6}、740×10^{-6}。

脉带整体走向 355°，沿脉有探槽、民硐和露头。脉带内见褐铁矿化、高岭土化、绢云母化、赤铁矿化和硫化物石英脉，具一定的分带性，分带性依次为：石英脉带-绢云母化带；-高岭土赤铁矿化混合带-网格状黄铁矿细脉带；硫化物石英脉两侧围岩主要是片麻岩，网脉状褐铁矿化强烈。硫化物石英脉出露不连续，地表附近大多被采空。闪长杂岩体与黑云母角闪斜长片麻岩的接触带上见一宽约 4cm 呈深绿色的绿泥石化矽卡岩脉出露。

2 号异常带--114 号点南北向异常带

异常值最高为 9.6，金含量最高为 2053.5×10^{-9}，Ag、Cu、Pb、Zn 最高含量依次为 5×10^{-6}、524.1×10^{-6}、368.6×10^{-6}、1100×10^{-6}。

脉带整体走向 352°，近乎直立，沿脉有探槽、民硐和露头。脉带内见褐铁矿化、高岭土化、绢云母化、绿泥石化,中心为硫化物石英脉,大多宽在 8-25cm，在 116/S3 观察到的石英脉宽达 40-135cm，具有一定的分带性：高岭土化绢云母化绿泥石化灰白色片麻岩-含硫化物较少的较纯的石英脉-烟灰色含硫化物较多的褐铁矿化石英脉；硫化物石英脉两侧围岩主要是角闪斜长片麻岩，褐铁矿化明显，有与石英脉平行产出的硫化物细脉，大多已全部褐铁矿化。地表附近探槽中可见出露较连续的硫化物石英脉。

3 号异常带--90 号点南北向异常带

异常值最高为 9.0，金含量最高达 1117.9×10^{-9}，Ag、Cu、Pb、Zn 最高含量依次为 5×10^{-6}、188.6×10^{-6}、2000×10^{-6}、1100×10^{-6}。

脉带整体走向近 345°-350°，近乎直立，沿脉有探槽、民硐和露头。脉带内见褐铁矿化、高岭土化、绢云母化、绿泥石化，中心为硫化物石英脉，大多宽在 10-40cm，80%以上均为硫化物，大多已褐铁矿化，石英脉中仍可见原生黄铁矿、赤铁矿呈不规则状团块分布其中，局部见石英晶簇。硫化物石英脉两侧围岩主要是角闪斜长片麻岩，褐铁矿化明显，有与石英脉平行产出的硫化物细脉，大多已全部褐铁矿化。地表附近探槽中可见出露较连续的硫化物石英脉。

4 号异常带--32/S1-40/S2-48/S3-57/S4 北西向异常带

异常值最高为 7.8，金含量最高为 714.2×10^{-9}，Ag 含量最高为 5×10^{-6}，Cu 含量最高为 346.4×10^{-6}，Pb 和 Zn 含量不高，分别为 46×10^{-6} 和 54×10^{-6}。

异常带内见褐铁矿化、高岭土化、绢云母化、绿泥石化片麻岩、黄铁矿化

中期石英岩和硫化物石英脉。石英脉宽度变化大，在 5-50cm，局部地段见原生的团块状和细脉状产出的黄铁矿、黄铜矿。两侧围岩主要是角闪斜长片麻岩，褐铁矿化明显，有与石英脉平行产出的硫化物细脉，大多已全部褐铁矿化，走向近 320°-343°，基本沿北西向 F5 断裂带充填。地表附近探槽较少，出露的硫化物石英脉连续性差。

5 号异常带--38/S5、41/S5-54/S6、58/S6 北西向异常带

异常值最高为 7.5，金含量最高为 436.7×10^{-9}，其余最高含量依次为 Ag4.757×10^{-6}、Cu307.2×10^{-6}、Pb1704.9×10^{-6}、Zn601×10^{-6}。

异常带内出露的岩石以强褐铁矿化的角闪斜长片麻岩为主，其次为闪长玢岩和霏细岩脉，出露的硫化物石英脉规模较小、连续性差，走向 332°，宽度多在 10cm 以下，基本上是沿 F5 断裂带旁侧北西向小裂隙充填，58/S6 附近有民采场。

6 号异常带--9/S1-4/S3-3/S4-8/S6-15/S6 似南北向异常带

异常值最高为 6.8，金含量最高为 552.8×10^{-9}，Ag、Cu、Pb、Zn 最高含量依次为 5×10^{-6}、224.4×10^{-6}、178.4×10^{-6}、237×10^{-6}。

异常带内黄土覆盖较多，由三个孤立的异常大致组成似南北向异常带。1 号异常由黄铁矿化中期石英岩引起，见晶形完好呈立方体晶形的黄铁矿，但大多已褐铁矿化；2 号异常由黄铁矿化长石石英斑岩引起，新鲜面见黄铁矿与石英晶洞，局部见紫红色粉晶-细晶质硅质团块呈不规则状分布，90%以上黄铁矿已褐铁矿化；3 号异常由小剪切破碎带（宽约 10-15cm，走向 350°）中产出的褐铁矿化块状硫化物细脉引起，分布于绢云母化高岭土化褐铁矿化片麻岩中。

从异常对金矿化的重要程度而言，2 号和 3 号异常带异常值高，Au、Ag、Cu、Pb、Zn 含量均有较高显示，异常明显由含金硫化物石英脉引起，且地表出露连续性较好，明显为金的矿致异常，为测区内的一类异常带。其次为 1 号异常带，异常值高，且 Au、Ag、Cu、Pb、Zn 含量均有较高显示，异常由网脉状褐铁矿化片麻岩、绿泥石化矽卡岩脉以及残留的含金硫化物石英脉引起，但硫化物石英脉出露不连续，地表附近大多被采空，因而归为二类异常。三类异常为 4 号异常带，异常的规模较大，有一定的连续性，但含金硫化物石英脉出露连续性差，异常主要由黄铁矿矿化中期石英岩、网脉状褐铁矿化片麻岩以及沿北西向 F5 断裂带充填的含金硫化物石英脉引起。其余异常规模较小，大多呈点状分布，主要由褐铁矿化片麻岩和岩浆岩脉引起，局部有硫化物和石英细脉且连续性较差，因而统一归为四类异常。

在上述分析的基础上，得出了测区内本次工作圈定的构造地球化学异常（带）的重要性排序，依次为：2 号异常带（12、13、14 异常）--3 号异常带

（10、11 异常）--1 号异常带（16 异常）--4 号异常带（4、6、7、8 异常）--5 号异常带（5、9 异常）--6 号异常带（1、2、3 异常）--15、17 异常。

需要说明的是，上述分析对于基岩出露较完整的 60 号点以东地段评价比较客观，对于 60 号点以西基岩出露较少的黄土覆盖地段评价偏差相对较大。总体上来说，限于采样的网度和局限性，上述构造地球化学工作尽管已圈出了一些较好的地球化学异常，但异常的范围和形状肯定存在一定的偏差，一些无异常显示的地段（主要是黄土覆盖区）也不一定就没有深部的找矿前景。

5.4 综合预测分析

在对前述各项探查工作获取的地质、地球化学信息进行分析、解译的基础上，结合矿区内关键控矿因素、成矿定位规律以及典型矿脉识别标志的分析，在金鸡岭测区内划分了 6 个预测单元，编号为 A、B、C、D、E、和 F（图 5-14），分别介绍如下。

1．A 预测单元有利的找矿信息主要有：

（1）民采竖井多个，挖出的岩石显现出与 F8 断裂所控制的 0 隐号矿脉极其相似的特征，应为受北西向 F4 断裂带控制的富金石英脉，分带性良好，可见较多的斑铜矿、黄铜矿，旁侧有变质辉绿岩脉，围岩为肉红色强钾化片麻岩，构造蚀变岩中黄铁矿化、高岭土化、绿泥石化明显，有硫化物细脉穿插。

（2）旁侧见黄铁矿化中期石英岩，中期石英岩中见晶形完好呈立方体的黄铁矿，但大多已褐铁矿化，Au 含量 4.13×10^{-9}较低，Cu，Pb，Zn，Ag 含量较高，分别为：224.4×10^{-6}，178.4×10^{-6}，237×10^{-6}，2.283×10^{-6}。

（3）边部基岩出露地段存在弱构造地球化学异常(6 号异常带中 1 号异常)，异常值(即 lgCuAuZnAg 综合指数值)为 5.7。

（4）尽管预测单元仅有部分地段处于测区内，而且只有南部地段有一定的化探工作控制，化探异常相对其它异常地段而言也不是特别突出，但由于有标志明显的、直接的地质找矿依据，因而将其排在最前面。

2、B 预测单元有利的找矿信息主要有：

（1）脉带整体走向 355°，沿脉有探槽、民硐和露头，硫化物石英脉出露不连续，地表附近大多被采空。脉带内见褐铁矿化、高岭土化、绢云母化、赤铁矿化和硫化物石英脉，具一定的分带性，分带性依次为：石英脉带-绢云母化带；-高岭土赤铁矿化混合带-网格状黄铁矿细脉带。硫化物石英脉两侧围岩主要是片麻岩，网脉状褐铁矿化强烈。闪长杂岩体与黑云母角闪斜长片麻岩的接触带上见一宽约 4cm 呈深绿色的绿泥石化矽卡岩脉出露。

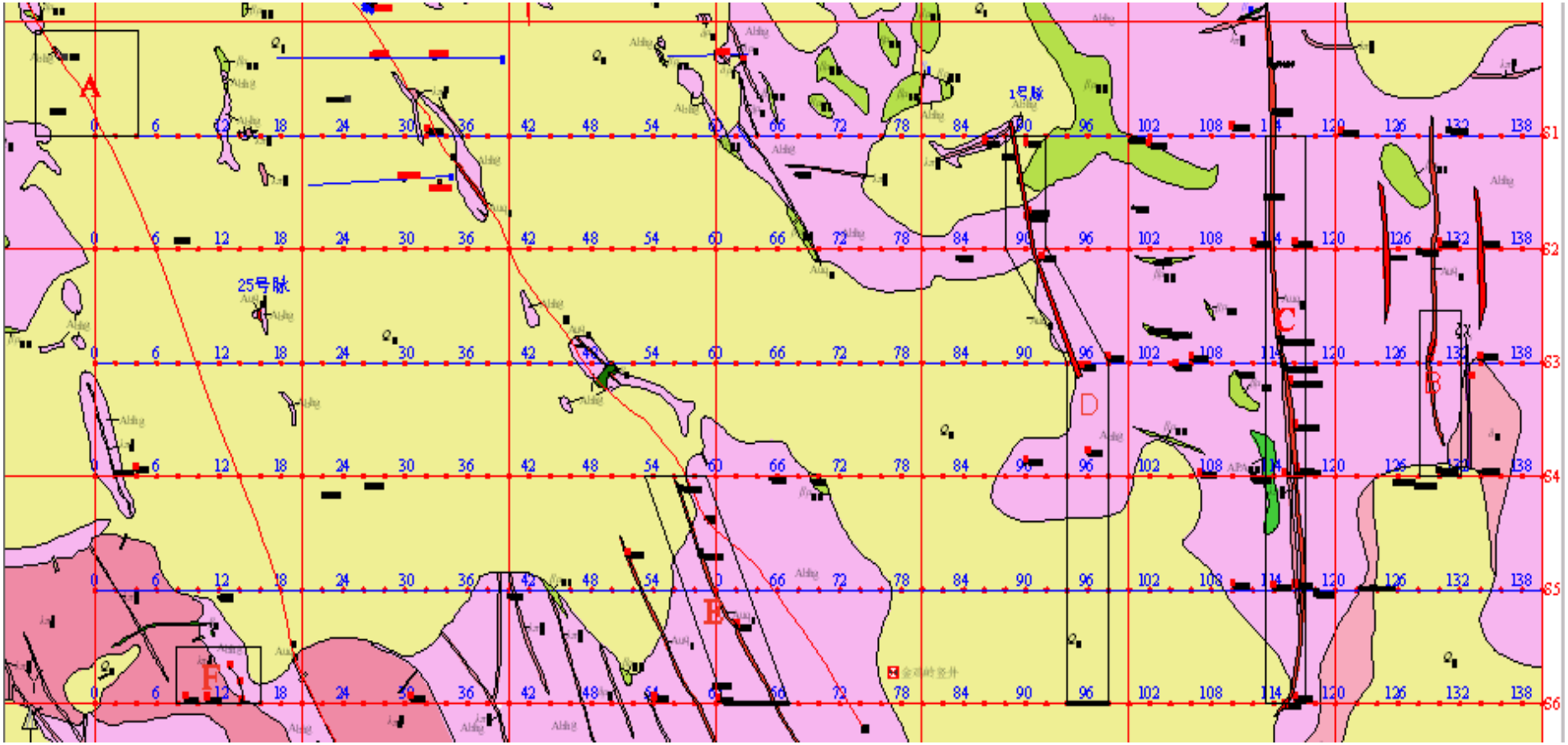


图 5-14　预测区预测单元分布图

（2）存在强构造地球化学异常（1 号异常带-130 号点近南北向异常带），异常值最高为 10.6，金含量最高为 5000×10^{-9}，Ag，Cu，Pb，Zn 最高含量依次为 5×10^{-6}，2000×10^{-6}，172.1×10^{-6}，740×10^{-6}。

（3）上述各种有利的找矿信息在空间上套合性好。

（4）是测区内地质、地球化学综合异常显示较好的地段，为明显的矿致异常，由于大部分采空，地质矿化异常信息稍弱。

3、C 预测单元有利的找矿信息主要有：

（1）脉带整体走向 352°，近乎直立，沿脉有探槽、民硐和露头，地表附近探槽中可见出露较连续的硫化物石英脉。脉带内见褐铁矿化、高岭土化、绢云母化、绿泥石化，中心为硫化物石英脉，大多宽在 8-25cm。在 116/S3 观察到的石英脉宽达 40-135cm，具有一定的分带性：高岭土化绢云母化绿泥石化灰白色片麻岩-含硫化物较少的较纯的石英脉-烟灰色含硫化物较多的褐铁矿化石英脉。硫化物石英脉两侧围岩主要是褐铁矿化角闪斜长片麻岩。

（2）存在强构造地球化学异常（2 号异常带-114 号点近南北向异常带），异常值最高为 9.6，金含量最高为 2053.5×10^{-9}，Ag，Cu，Pb，Zn 最高含量依次为 5×10^{-6}，524.1×10^{-6}，368.6×10^{-6}，1100×10^{-6}。

（3）上述各种有利的找矿信息在空间上套合性好。

（4）是测区内地质、地球化学异常显示最好的地段，为明显的矿致异常。

4、D 预测单元有利的找矿信息主要有：

（1）脉带整体走向走向近 345°-350°，近乎直立，沿脉有探槽、民硐和露头，地表附近探槽中可见出露较连续的硫化物石英脉。脉带内见褐铁矿化、高岭土化、绢云母化、绿泥石化，中心为硫化物石英脉，大多宽在 10-40cm，80%以上均为硫化物，大多已褐铁矿化，石英脉中仍可见原生黄铁矿、赤铁矿呈不规则状团块分布其中，局部见石英晶簇。硫化物石英脉两侧围岩主要是角闪斜长片麻岩，褐铁矿化明显，有与石英脉平行产出的硫化物细脉，大多已全部褐铁矿化。

（2）存在强构造地球化学异常（3 号异常带-90 号点近南北向异常带），异常值最高为 9.0，金含量最高达 1117.9×10^{-9}，Ag，Cu，Pb，Zn 最高含量依次为 5×10^{-6}，188.6×10^{-6}，2000×10^{-6}，1100×10^{-6}。

（3）上述各种有利的找矿信息在空间上套合性好。

（4）是测区内地质和构造地球化学综合异常显示良好的地段，为明显的矿致异常，与 A 预测单元相比在南部延伸规模较小。

5、E 预测单元有利的找矿信息主要有：

（1）脉带整体走向 320°-343°，沿脉有探槽、民硐和露头；脉带内见褐铁矿化、高岭土化、绢云母化、绿泥石化；硫化物石英脉断续分布，宽度变化大，在 5-50cm，有分支复合现象，局部地段见原生的团块状和细脉状产出的黄铁矿、黄

铜矿；围岩主要是褐铁矿化角闪斜长片麻岩，局部为具纹层构造的绿泥石化片麻岩。

（2）存在较强的构造地球化学异常（4 号异常带-北西向异常），异常值最高为 7.8，Au714.2×10^{-9}，Cu346.4×10^{-6}，Ag5×10^{-6}含量均高；

（3）地质、构造地球化学有利找矿信息在空间上有一定的套合性。

（4）地质、地球化学异常均有一定的显示度，但强度相对较弱，局部地段金有一定的富集，为矿致异常，但规模和连续性相对较差。

9、F 预测单元有利的找矿信息主要有：

（1）绢云母化高岭土化褐铁矿化片麻岩和中期石英岩中见褐铁矿化块状硫化物细脉（宽约 10-15cm，走向 350°）沿多条近南北向小剪切破碎带充填，有多个小型探槽断续沿近南北向分布。

（2）基岩出露地段存在弱构造地球化学异常（6 号异常带中 3 号异常），异常值最高为 6.8，Au 552.8×10^{-9}，Ag5×10^{-6}。

（3）上述各种有利的找矿信息在空间上存在一定的套合性，综合异常弱。

上述分析对于基岩出露较完整的 60 号点以东地段评价比较客观，也发现了 B、C、D 等综合异常显示较好的几个矿致异常单元。需要说明的是，对于 60 号点以西基岩出露较少的黄土覆盖地段评价偏差相对较大。总体上来说，限于采样的网度和局限性，一些无异常显示的地段（主要是黄土覆盖区）也不一定就没有深部的找矿前景。

综合以上分析，可以看出：

（1）A 预测单元矿化明显受北西向 F4 大断裂控制，在其局部地段 G01-G08 连线附近可以寻找类似 0 隐号的富铜金的构造蚀变岩型金矿。

（2）地化综合异常显示较好的矿致异常单元，包括 B、C、D 预测单元，明显为受近南北向断裂裂隙控制产出的充填型石英脉型金矿，地表已有含金硫化物石英脉出露，金、银、铜、铅、锌含量均较高，是典型的矿致异常，为寻找近南北向充填型含金石英矿脉的主要靶位。

（3）E 预测单元位于金鸡岭附近，S4 线和 S5 线之间控制点 F5/S4（0465790，4358172）、57-1/ S4（0465785，4358131）以及 57-2/ S4（0465766，4358178）地表附近有构造地球化学异常显示，交汇部位是良好的成矿空间。

（5）F 预测单元有一定的地质和构造地球化学异常显示，但异常主要是 F4 断层旁侧的反映，而且紧靠中期石英岩，综合异常显示度相对较低。

（6）建议验证工程的顺序为：A-C-D-B-E-F。

第六章 结 论

本论文主要依托导师的科研生产合作项目“山西省繁峙县义兴寨金矿深边部找矿预测研究”而进行。以金矿床成因理论、成矿预测理论、构造地球化学理论为指导，以义兴寨金矿床成矿条件、控矿因素等方面的研究为切入点，结合区域成矿演化背景分析，总结了义兴寨金矿床控矿因素、矿床成因及成矿定位规律，并对义兴寨金矿开展了构造地球化学测量，对测试数据进行了数理统计，并在构造地球化学异常分析的基础上进行了找矿预测研究。

论文取得的主要认识为：

1、北西向深大断裂附近的河湾和南门山角砾岩筒形成相对较早，属于晚期岩浆阶段形成的酸性高硅质成分的超浅成相岩浆产物；铁塘硐和金鸡岭角砾岩筒形成相对较晚，属于岩浆期后热液阶段形成的矽卡岩质为主的超浅成相含矿流体的产物。两者来源于统一的深部岩浆房，属深部岩浆房在不同的阶段分异出的衍生物。

2、燕山期岩浆侵入活动与成矿关系密切，是本区成矿最重要的主导因素，成矿物质、成矿流体以及成矿能量主要来自于岩浆，矿床（体）的形成和定位受岩浆热力接触带体系控制明显。

3、各种不同形式、不同级别的构造对成矿岩体的形成和就位、成矿流体的运移和储集以及矿体的形成和定位均起到了至关重要的作用，是成矿最重要的控制因素。其中较大规模的北西向张性断裂和次一级的北北西向压-张扭性断裂裂隙控制了矿床和主要矿体的形成和定位，是最主要的控矿构造。

4、提出矿区内矿床的形成和定位主要受区域性北西向构造岩浆活动带控制，具体而言，主要受规模较大的北西向张扭性断裂带、岩浆热力接触带超覆构造体系、岩浆侵位前锋超浅成相或次火山岩相酸性岩（脉）集中出露地段以及隐爆角砾岩筒周边发育的构造裂隙密集地带的联合控制。

5、根据对成矿地质条件的分析，提出燕山期岩浆岩是有利的成矿母岩，而作为五台群绿岩带组成部分的具有较高金含量的本区片麻岩地层可以作为矿源层考虑；构造是成矿最重要的因素，控制了岩浆的侵入及其成矿岩体和矿体的形成和就位. 在综合研究矿床地质特征以及成矿条件的基础上，认为义兴寨金矿床属典型的与燕山期中酸性岩浆侵入活动有关的中低温热液充填石英脉型金矿床，并在此基础上对其成矿过程进行了阐述。

6、通过对构造地球化学测量的结果进行数理统计分析，提出义兴寨矿区最佳成矿元素金关系最密切的指示元素是 Cu，对应的高中低温指示元素的组合类型依次为：Sn、Mo→Cu、Au→Ag、Zn、Sb、As、Hg。

7、根据构造地球化学异常规模、强度、元素组合，并结合成矿地质条件，在预测区内划分了 6 个预测单元，并在综合地质地球化学异常信息的基础上对其重要性进行了排序。

参考文献

[1] 景淑慧.山西省繁峙县义兴寨金矿床成矿地质条件及成矿规律的研究[M].山西省地质矿产局,1985:1-15

[2] 沈保丰,毛德宝.五台山-恒山绿岩带型金矿床的时空分布[J].前寒武纪研究进展,1999,22(1):1-11

[3] 沈保丰,彭晓亮,骆辉,等.华北陆台太古宙绿岩带的地质-地球化学特征[J].天津地质矿产研究所所刊,1992,(26-27):151-163

[4] 沈保丰,彭晓亮,骆辉,等.中国太古宙绿岩带[J].地质学报，1993; 67 (3): 208-220

[5] 沈保丰,骆辉,毛德宝,等.华北陆台太古宙绿岩带金矿的成矿特征[J].华北地质矿产杂志,1994,9(1):87-96

[6] 贾永山,戈全厚.山西省义兴寨金矿床地质特征及成因探讨[J].黄金,1994,15(10):12-16

[7] 杨红英,王建国,周军.山西义兴寨金矿流体包裹体德特征及意义[J].贵金属地质,1995,4(3):177-183

[8] 叶荣,赵伦山,沈镛立.山西义兴寨金矿床地球化学研究[J].现代地质,1999,13(4):415-418

[9] 姜绍飞,杜振国,刘之洋.义兴寨金矿黄铁矿的标型特征及成因意义[J].矿产与地质,1995,9(47):203-207

[10] 李双保,李俊建.山西恒山义兴寨脉金矿田成矿地球化学特征[J].前寒武纪研究进展,1997,20(2):1-20

[11] 叶荣,涂光炽,赵伦山等.山西义兴寨金矿床金矿物颗粒的产出及其成矿动力学意义[J].矿床地质,2002,21(3):278-282

[12] 叶荣,赵伦山,沈镛立.山西义兴寨金矿床地球化学研究[J].现代地质,1999,13(4):415-418

[13] 叶荣,赵伦山,沈镛立,等.义兴寨金矿成矿作用地质地球化学动力学研究[J].现代地质,1997,11(1):58-65

[14] 田永清,王安建,余克忍,许文良.山西省五台山—恒山地区脉状金矿成矿的地球动力学[J].华北地质矿产杂志,1998,13(4):302－454

[15] 毋瑞身.关于“金矿化集中区”的讨论[J].贵金属地质,1996,5(2):147-149

[16] 郑明华,刘家军,龙训荣，等.西南天山萨瓦亚尔顿金矿床成矿地球化学特征[J]矿物岩石地球化学通报,2000,19(4):226-227

[17] 胡伦积,姚风良.金矿床的成因分类[J].中国地质,1983,(1): 15-17

[18] 王义文,朱奉三,宫润潭.胶东金矿集中区金矿成矿年代学研究[J].黄金地质,2002,8(4):48-55

[19] 王文友,李兴柱,阎竹斌,等.中国金矿地质及普查勘探方法[M].西安,陕西省地

质矿产局.1985:61-66
[20] 王友文,弥建勇.陕西金矿成矿区(带)划分及地质特征[J].陕西地质,1997,15(1):60－65
[21] R.W 博依尔[加].金的地球化学及金矿床[M].北京:地质出版社,1984:1-50
[22] 周遗军,武玉海,翟裕生.论金矿床的分类[J].黄金地质,1996,2(2):1-9
[23] 罗镇宽.中国大规模岩金矿床类型及找矿远景分析[J].黄金地质,1995,1(1):20-26
[24] 涂光炽.超大型矿床的寻找与研究的若干进展[J].地学前缘, 1994,l(3/4):45-53
[25] 罗镇宽,关康,苗来成.中国绿岩型金矿床——认识、问题与展望[J].黄金科学技术,1994,2(3):1-9
[26] 张贻侠,寸珪,刘连登.中国金矿床:进展于思考[M].北京:地质出版社,1996:1-100
[27] 陈衍景,富士谷.豫西金矿成矿规律[M].北京:地震出版社,1992: 1-234
[28] 王铁军,樊秉鸿,关康,等.文峪金矿矿床成因讨论[J].地质找矿论丛,2002,17(2):85-91
[29] 王虹,霍光辉,王宝君.山东鲁西地区绿岩带型金矿床特征及成因浅析[J].地质力学学报,2005,11(4):352-356
[30] 姜峰贤.山西五台县东腰庄金矿成矿地质特征及矿床成因[J].地质与勘探,2006,42(3):24-29
[31] 涂光炽.我国原发金矿类型的划分和不同类型金矿的远景剖析[J].矿产与地质,1990,4(1):1-10
[32] 沈克富. 平江黄金洞金矿田成矿特征及找矿前景[J].湖南地质,2000,19(4):237-240
[33] 欧阳德仁.湘西沃溪金矿床地质特征及其找矿前景探讨[J].湖南冶金,1999,4:34-37
[34] 王玉玲,徐孟罗,程广国，等.金矿类型的划分原则及理论分析[J].贵金属地质,1997,6(3):221-228
[35] 刘新会,于岚,张复新，等.甘肃岷县寨上金矿床地质特征及成因初探[J].西北地质,2005,38(4):45-53
[36] 韦龙明,林锦富,吴烈善.凤县八卦庙特大型金矿热水沉积岩的地质地球化学特征[J].地质学报,2004,78(6):829-835
[37] 钟建华,张国伟.陕西凤县八卦庙特大型金矿的成因研究[J].地质学报,1997,71(2):150-160
[38] 谭立平,陶正章.台湾金瓜石金－铜矿床[J].地质地球化学,1994,1:13-17

[39] 冯守忠.吉林省五凤_五星山金矿床地质特征与成矿条件[J].贵金属地质,1994,3(4):241-247
[40] 陈景河.紫金山铜-金-矿床成矿模式[J].黄金,1999,20(7):6-11
[41] 彭守晋.新疆金矿床类型及找矿方向的研究[J].矿产与地质,1994,8(5):311－316
[42] 高振敏,罗泰义.云南省的主要金矿类型及重点找矿区域研究[J].黄金科学技术,1998,6(5):1-5
[43] 沈远超,申萍,曾庆栋，等.新疆阿尔泰金矿带主要金矿类型、成矿规律及成矿预测[J].地质与勘探,2004,40(5):1-5
[44] 翟裕生.金属成矿学的若干进展[J].地质与勘探,1997,33(1):13-18
[45] 翟裕生.论成矿系统[J].地学前缘,1999,6(1):13-27
[46]翟裕生.矿床学的百年回顾与发展趋势[J].地球科学进展,2001,16(5):719-725
[47] 程裕淇,陈毓川,赵一鸣.初论矿床的成矿系列[M].中国科学院院报(第一号),北京,地质出版社,1979,32-57
[48] 翟裕生.成矿系统及其演化－初步实践到理论思考[J].地球科学,2000,25(4):333-339
[49]赵鹏大,池顺都.初论地质异常[J].地球科学,1991,(3):241-248
[50] 陈永清,夏庆霖.应用地质异常单元圈定矿产资源体潜在地段——以鲁西铜石金矿田为例[J].地球科学,1999,24(5):459-467
[51] 曹瑜,胡光道. 圈定“5P”找矿地段的 GIS 成矿预测空间模型及其应用[J].地球科学,1999,24(4):409-412
[52] 裴荣富,熊群尧.中国特大型金属矿床成矿偏在性与成矿构造要素聚敛场[J].矿床地质,1999,18(1):37-46
[53] 沈远超,等.地电化学参法在金矿深部定位预测中的应用[J].地质科技情报2000,19(1):97-100
[54] 侯嘉丽,杨密云.用铊做探途元素寻找金矿[J].有色金属矿产与勘查,1995,4(4):223—227
[55] 曾庆栋,沈远超,杨金中,等.山东乳山金矿区及外围铊地球化学找矿矿究[J].黄金科学技术,1998,6(4):8-13
[56] 张湘炳,李志纯,谭克仁,等.构造与金矿成矿规律[M].北京:地质出版社,1994:1-103
[57] A.K.列别杰夫, 章敏.用 X 射线放射性测量法找隐伏矿和埋藏矿[J].国外地质科技,1996(4):12—16
[58] 周蓉生,马英杰.小型化激发 X 荧光仪的研制与初步应用[J].中国地质,2001,28(5):39—45

[59] 罗先熔.地球电化学勘查及深部找矿[M].北京:冶金工业出版社,1996:1—221
[60] 刘树田,连长云.快速评价金矿脉的壤中气汞量测量方法[J].黄金,1998,19(1):10—13
[61] 代西武,杨建民.利用矿床原生晕进行深部隐伏矿体预测[J].矿床地质,2000,19(3):246-256
[62] 常向阳,朱炳泉.铅同位素系统剖面化探与隐伏矿深度预测[J].中国科学,2000,30(1):33-39
[63] 孙晓明, Norm,DI.一种新的成矿流体示踪法——流体包裹体 N_2—Ar—He 示踪体系[J].地质论评,2000,46(1):99-103
[64] 解习农,董伟良,等.热流体活动示踪标志及其地质意义[J].地球科学,1999,24(2):183-187
[65] 周宏坤等.金属矿床大比例尺定量预测[M].北京:地质出版社,1996:15-45
[66] 刘承柞.数学地质的主要进展和发展趋势[M].地质论评,1996,42(4):364-368
[67] 王志华.综合趋势分析在成矿预测中的应用[M].贵金属地质,1999,8(1):41-44
[68] 王功文等.切比雪夫曲线拟合实现玉龙斑岩铜矿体深度预测[M].地学前缘,2000,7(2):526-531
[69] 肖克炎,葛艳.成矿预测中证据权重法与信息量法及其比较[J].物探化探计算技术,1999,21(3):223-226
[70] 陈建国,夏庆霖.利用小波分析提取深层次物化探异常信息[J].地球科学,1999,24(5):509-512
[71] 柳建新,薛晓东等.一种区分矿与非矿的有效方法——伪随机多频相位法原理及其应用[J].中国地质,2001,28(9):41—46
[72] 池三川.隐伏矿床（体）的寻找[M].武汉:中国地质大学出版社,1988:1-50
[73] 徐兴旺,蔡新平.隐伏矿床预测理论与方法的研究进展[J].地球科学进展,2000,15(1):76-83
[74] 袁奎荣.隐伏花岗岩预测及深部找矿[M].武汉:科学出版社,1990:1-45
[75] 王钟等.隐伏有色金属矿床综合找矿模型[M].北京:地质出版社,1996:10-40
[76] 廖崇高.兰坪盆地成矿预测中的多元信息定量分析[J].矿床地质,2001(3):292—297
[77] 刘燕君,金丽芳.东坪式金矿盲矿体的多元信息预测研究[J].国土资源遥感,1994(1):15—22
[78] 王世称,陈永清.金矿综合信息成矿系列预测理论体系[J].黄金地质,1995,1(1):1—7
[79] Kudrin A V, Varyash L N, Pashkov YuN et al.The geochemical behaviour of copper and molybde-num in ore-forming processes[M].Geology and Metallogeny of

Copper Deposits．Heidelberg: Springer-Verlag,1996:209—215
[79] 彭程电.略论个旧锡矿床地质找矿的新发展及其途径[J].矿床地质,1986,5(3):37-48
[80] 姚金炎.隐伏矿床及其找矿方法[J].地质与勘探,1990,26(3):10-16
[81] 关键.吉林通化南岔式金矿地质—地球物理—地球化学综合找矿模型[J].中国地质,2001,28(12):22—29
[82] 田永清,王安建,余克忍.山西省五台山—恒山地区脉状金矿成矿的地球动力学[J].华北地质矿产杂志,1998,13(4):301-456
[83] 刘志宏,王安建,许虹.五台山地区韧性剪切带型金矿成因[J].矿床地质,1997,16(4):350-364
[84] 陈俊明.五台山—恒山花岗岩—绿岩地体中金分布的基本格局[J].山西地质，1993，8(2):178－186
[85] 沈保丰,李俊建.华北地台绿岩带地质特征类型和演化[J].前寒武纪研究进展,1997,20(1):2-11
[86] 景淑慧.繁峙义兴寨金矿的成矿条件[J].山西地质,1992,7(1):51-64
[87] 张贻侠,寸珪,刘连登.中国金矿床：进展于思考[M].北京:地质出版社,1996:1-100
[88] 侯惠群,戴忠强,张文陆.晋东北地区金矿成矿控矿因素的物化探特征[J]. 有色金属矿产与勘查,1995,4(3):153-158
[89] 张理刚,王可法.中国东部中（新）生代构造同位素地质学研究[J].桂林冶金地质学院学报,1991,11(1):35-48
[90] 陈国达,黄瑞华,构造地球化学刍议[M].构造地球化学文集,1983,1－12
[91] Gray D.R. Differentiation associated with discrete crenulation cleavages[J]. Lithos,1977,10:89-101
[92] Gray D.R. and Durney, D.W.Investigation of the mechnical significance of crenulation cne, leavage[J].Tectonophysics,1979,58:35-79
[93] Jean-Clair Duches Jacqueline Vander Auwera, Jean-Paul Li´egeois,et al. Geochemical constraints of the petrogenesis of the O'okiep Koperberg uite and granitic plutons in Namaqualand,South Africa: A crustal source in Namaquan (Grenville) times[J].Precambrian Research,2007,153:116-142
[94] Arno Mücke，Bohus Fojt，Jaroslav Skàcel.The Malé Vrbno magnetite occurrence of the Velké-Vrbno Unit, Czech Republic: petrology, mineralogy, geochemistry and genesis[J].Chemie der Erde,2006,66:109-127
[95] Axel Hofmann.The geochemistry of sedimentary rocks from the Fig Tree Group,Barberton greenstone belt: Implications for tectonic, hydrothermal and surface processes during mid-Archaean times[J].Precambrian Research, 2005, 143:23-49
[96] M.Shamim Khan,T.E. Smith,M. Raza,et al.Geology,Geochemistry and Tectonic Significance of Mafic-ultramafic Rocks of Mesoproterozoic Phulad Ophiolite Suite of

South Delhi Fold Belt, NW Indian Shield[J]. Gondwana Research, 2005, 8(4):553-566
[97] Crispin Katongo, Friedrich Koller,Urs Kloetzli, et al. Petrography, geochemistry, and geochronology of granitoid rocks in the Neoproterozoic-Paleozoic Lufilian – Zambezi belt, Zambia:Implications for tectonic setting and regional correlation[J]. Journal of African Earth Sciences,2004,40:219-244
[98] R.Tchameni, A.Pouclet, J.Penaye,et al. Petrography and geochemistry of the Ngaoundéré Pan-African granitoids in Central North Cameroon: Implications for their sources and geological setting[J].Journal of African Earth Sciences, 2006,44: 511-529
[99] A.M. Moghazi.Geochemistry and petrogenesis of a high-K calc-alkaline Dokhan Volcanic suite, South Safaga area, Egypt: the role of late Neoproterozoic crustal extension[J].Precambrian Research,2003,125:161-178
[100] Paul A.M.Nex,Judith A.Kinnaird,GrahameJ.H.Oliver.Petrology, geochemistry and uranium mineralisation of post-collisional magmatism around Goanikontes, southern Central Zone,Damaran Orogen,Namibia[J]. African Earth Sciences, 2001, 3:481-502
[101] 李永峰.资源危机矿山找矿预测研究－以山西省繁峙县义兴寨金矿为例[博士后研究工作报告].北京:中国地质大学,2006
[102] 张贻舟,邵拥军,贺辉,张革利.义兴寨金矿化探数据数理统计分析[J].全国第三届矿山地质会议论坛论文集:中南大学出版社，2006:180-184
[103] 邵拥军,张贻舟,刘明,贺辉.浅议隐伏矿体定位预测[M].全国第三届矿山地质会议论坛论文集,2006:185-188
[104] 邵拥军,李永峰,张贻舟,胡荣国.山西义兴寨金矿床定位规律及找矿方向[J].矿床地质,2006,25 卷增刊:479-482

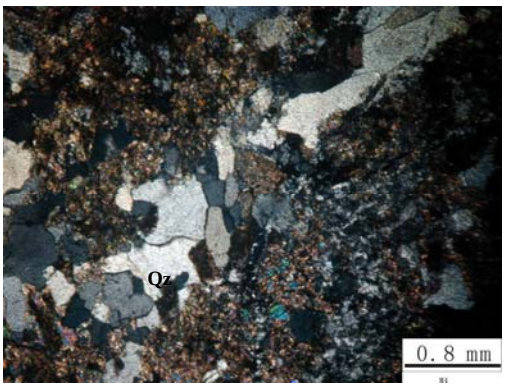
图 版

照片 1：M0 号矿脉围岩表面见肉红色钾长石化（A）。
照片 2：M0 号矿脉构造蚀变岩中见硅化现象，小石英(Qz)颗粒定向分布,正交偏光。
照片 3：硅化绢云母化构造蚀变岩,中碎裂化它形石英(Qz)集合体旁侧均为强绢云母化,单偏光.。
照片 4：M0 矿脉构造蚀变岩中的蚀变矿物分带：硅化带（A）－绿泥石化带（B）－高岭土化带（C）。
照片 5：M0 矿脉中的含金小石英脉(AuQz)脉壁清晰，显示了晚期沿构造蚀变岩薄弱面充填的矿化特征。
照片 6：北西向 M0 号富金石英脉(AuQz)中矿化分带：石英(Qz)结晶分异良好，纯度透明度高——钾化（赤铁矿化）（A）——斑铜黄铜矿化（B）——富金明显正相关，分带性较好。
照片 7：5 号脉带含金斑铜黄铜矿石英脉（A）旁侧网脉状方解石脉（B）（碳酸岩化）。
照片 8：M3 号脉带中与近南北向矿脉平行产出的陡立的方解石细脉(A)。
照片 9：M3 号脉带中充填特征明显的细脉浸染状黄铁黄铜斑铜矿石英脉(A)。
照片 10：5 号矿脉带边界清晰的含金孔雀石化黄铁黄铜矿石英细脉(A)，围岩为片麻岩（B）。
照片 11、12：M3 号脉带中分带性明显：黄铜斑铜矿脉（A）－石英脉(B)－黄铁矿脉(C)。
照片 13：5 号脉带高岭土化黄铁绢英岩（A）中富铅锌硫化物石英细脉(B)，穿插围岩主要为钾化（赤铁矿化）片麻岩(C)。
照片 14：5 号矿脉中的晶芽状石英（Qz）与梳状石英（Qz）。
照片 15：6 号矿脉中充填特征明显的富铅锌含金石英脉（A）与片麻岩（B）接触界线平直清晰。
照片 16：6 号脉带中显分带性的硫化物细脉：石英脉（Qz）中呈条带产出的黄铁矿（Py）（细粒，连续性好）和方铅矿（Gn）（粗粒，断续分布）硫化物细脉
照片 17：矽卡岩中富金黄铁黄铜斑铜矿石英细脉：一侧为方解石石英细脉（A），另一侧为石英细脉(B),中间含斑铜矿（Bn）、黄铜矿（Cp）、黄铁矿（Py）、石英（Qz）。
照片 18：角砾状矽卡岩含铁锰质矽卡岩化蚀变岩胶结物（A）、绿帘石透辉石(B)、石榴子石矽卡(C)。
照片 19：矽卡岩中残留灰岩(A),围岩为绿帘石透辉石石榴子石矽卡岩(B)。
照片 20、21：矽卡岩中呈叶片状和放射状分布的镜铁矿（Spe）。
照片 22：角砾岩筒内残留灰岩(A)及晶洞状方解石(B)。
照片 23：角砾状矽卡岩中的石榴子石（Gar）和镜铁矿（Spe）。
照片 24、25、26：石英的对称梳状构造、梳状构造和晶簇状构造,正交偏光。
照片 27： m0 号矿脉中含金石英脉中斑铜矿（Bn）、黄铜矿（Cp）、黄铁矿（Py）呈浸染状分布。
照片 28：5 号矿脉旁侧铅锌硫化物呈细脉穿插于片麻岩中。

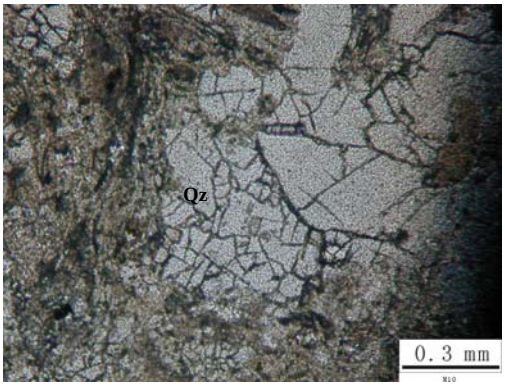
照片 29：5 号脉中互成条带的硫化物和石英细脉。
照片 30：黄铜矿（Cp）中自形－半自形的黄铁矿（Py），边界平直清晰，有一定的溶蚀。
照片 31：整体仍显晶形局部碎裂化的黄铁矿（Py）。
照片 32：闪锌矿（早）（Sph）中大颗粒尖角状产出的有明显黑三角孔的方铅矿（Ga）（晚）。
照片 33：黄铜矿—闪锌矿固溶体（A）（晚）沿黄铁矿（Py）（早，有残留和溶蚀边）裂隙贯入交代。
照片 34：显微分带结构：从左往右依次为大颗粒黄铁矿黄铜矿脉(A)－小颗粒石英硫化物脉(B)－石英脉(C)。
照片 35：黄铁矿（Py）分叉结构。
照片 36：文象结构：黄铜矿（Cp）出溶物呈蠕虫状分布于闪锌矿（Sph）中，显文象结构，局部有定向性，同时形成。
照片 37：假象结构：方铅矿（Ga）中交代残留的黄铁矿（Py）和黄铜矿（Cp），黄铜矿（Cp）（晚）交代黄铁矿（Ga）（早），呈立方体晶形的黄铁矿假象。
照片 38：环带结构：辉铜矿（Cha）（灰蓝）与蓝辉铜矿（Neo）（蓝）组成不规则环带，从周边交代黄铜矿（Cp）—闪锌矿（Sph）固溶体。
照片 39：环边结构：斑铜矿（Bn）（晚）环绕黄铁矿（Py）（早）分布，旁侧为不规则状它形黄铜矿（Cp）（中）。
照片 40：镶边结构：它形斑铜矿（Bn）（早）沿边部被氧化形成蓝铜矿（Azu）（晚）晕边—镶边结构。
照片 41：固溶体分离结构：黄铜矿（Cp）（黄色）呈乳浊状分布于闪锌矿（Sph）（灰色）中，同时形成。
照片 42、43：绿帘石透辉石石榴子石矽卡岩中的等轴晶形的石榴子石，照片 42 与照片 43 为同一位置，照片 42 为单偏光，照片 43 为正交偏光。
照片 44、45：绿帘石透辉石石榴子石矽卡岩中的透辉石。照片 44 与照片 45 为同一位置，照片 44 为单偏光，照片 45 为正交偏光。
照片 46、47：绿帘石透辉石石榴子石矽卡岩中的绿帘石。照片 46 与照片 47 为同一位置，照片 46 为单偏光，照片 47 为正交偏光。
照片 48、49：绿帘石透辉石石榴子石矽卡岩中的干涉色。
照片 50、51：矽卡岩中叶理明显的镜铁矿（Spe）集合体。
照片 52：新鲜角闪斜长片麻岩。
照片 53：角闪斜长片麻岩：由角闪石（Am）（突起高， 两组解理明显）、斜长石（Pl）（聚片双晶）、石英（Qz）（小颗粒表面干净）及钾长石（Kf）（晶形呈长方形，少量泥化、绢云母化）组成，正交偏光。
照片 54：片麻岩中斜长石（Pl）的格子双晶,正交偏光。
照片 55：片麻岩中角闪石（Am）的两组解理，单偏光。
照片 56：霏细岩中的隐晶至微晶的石英（Qz），单偏光。



照片 1



照片 2



照片 3



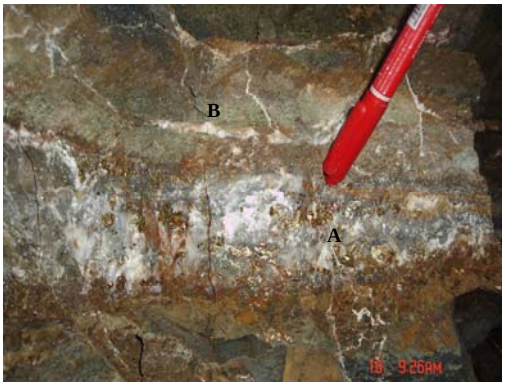
照片 4



照片 5



照片 6



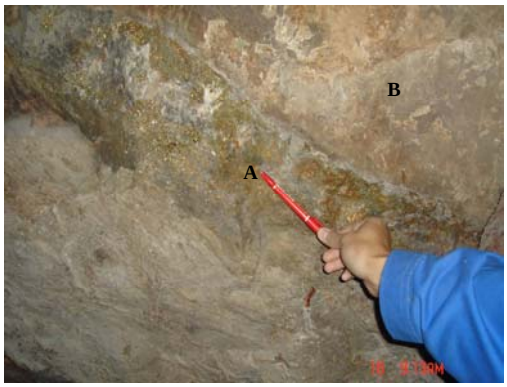
照片 7



照片 8



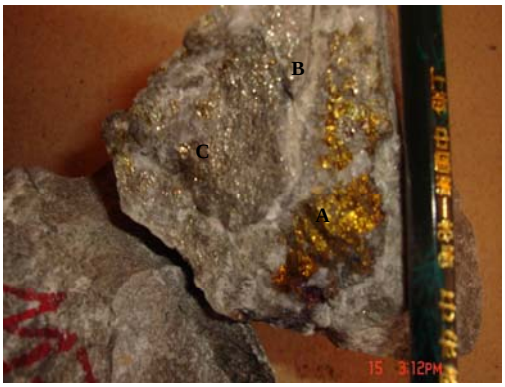
照片 9



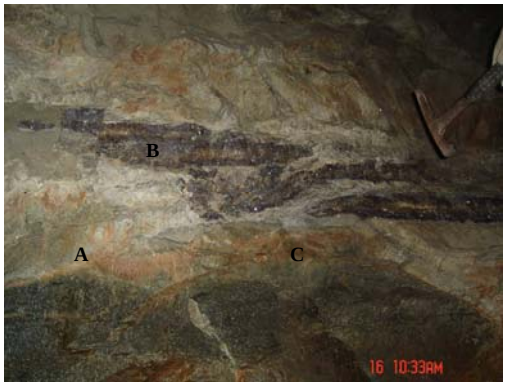
照片 10



照片 11



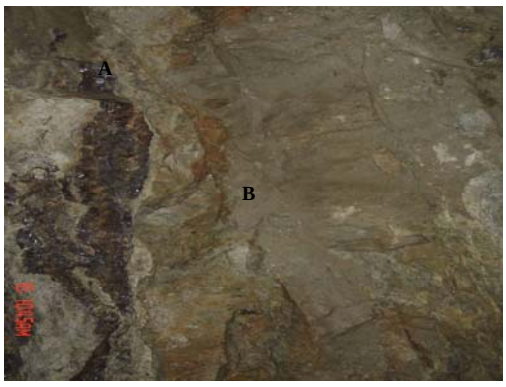
照片 12



照片 13



照片 14



照片 15



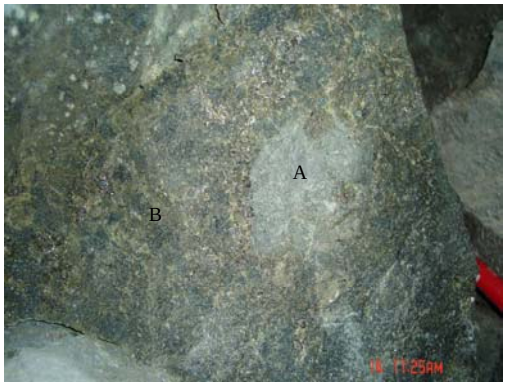
照片 16



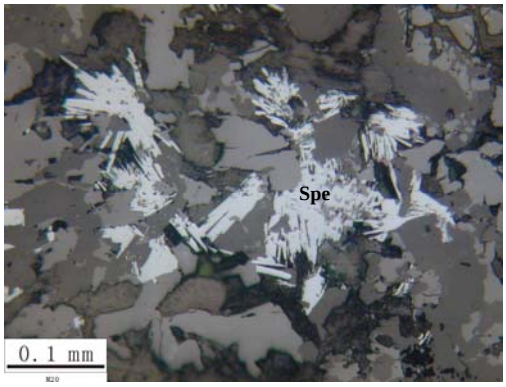
照片 17



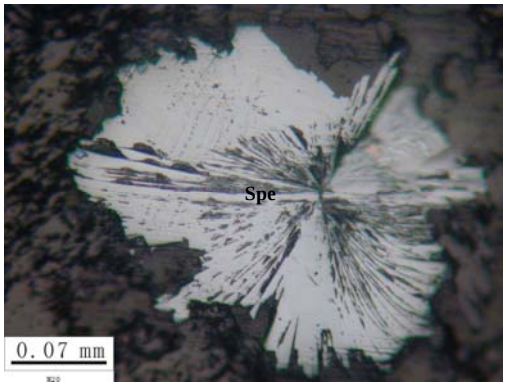
照片 18



照片 19



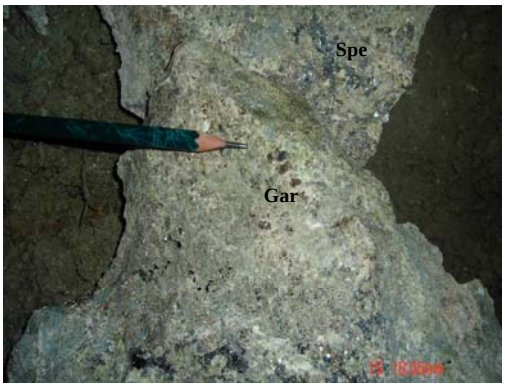
照片 20



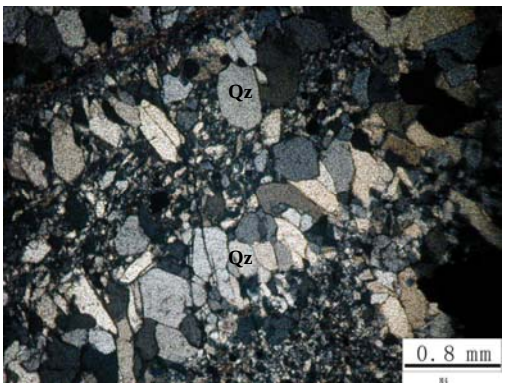
照片 21



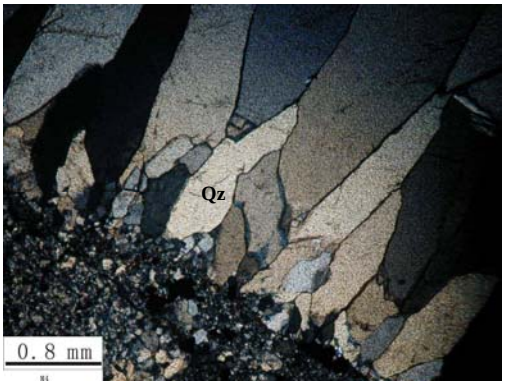
照片 22



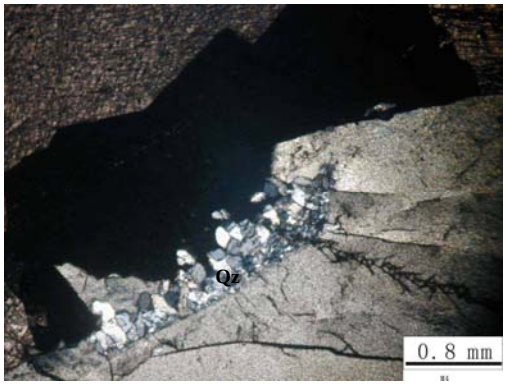
照片 23



照片 24



照片 25



照片 26



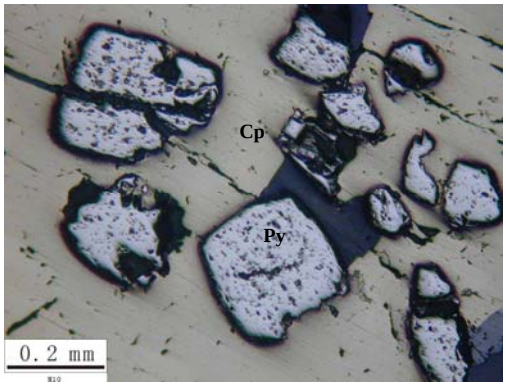
照片 27



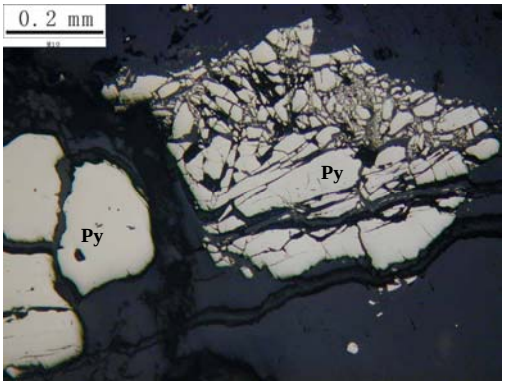
照片 28



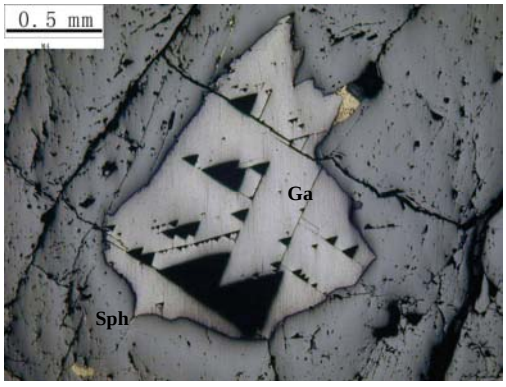
照片 29



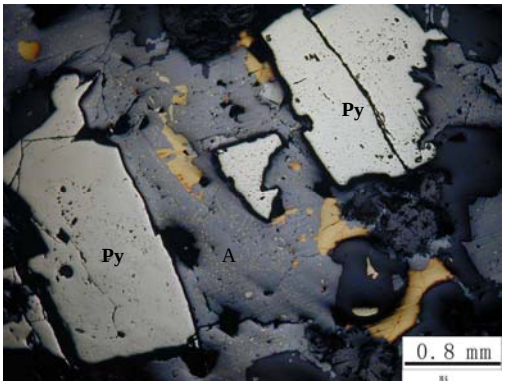
照片 30



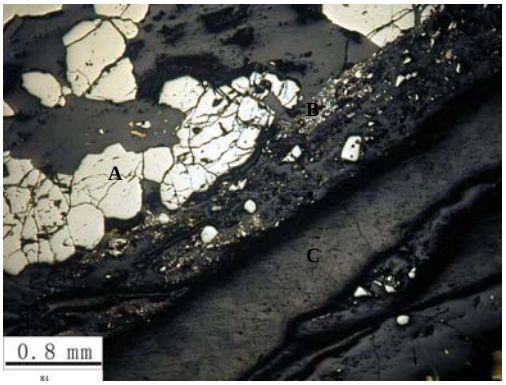
照片 31



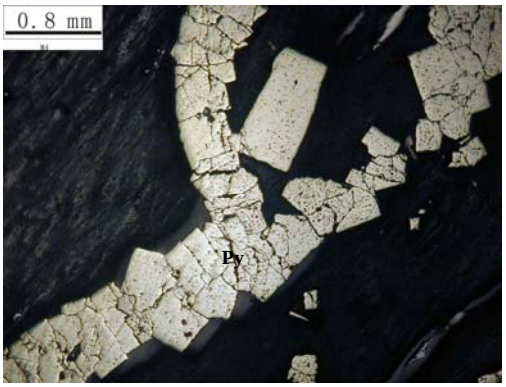
照片 32



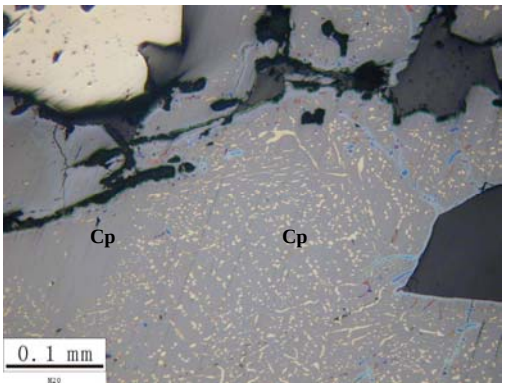
照片 33



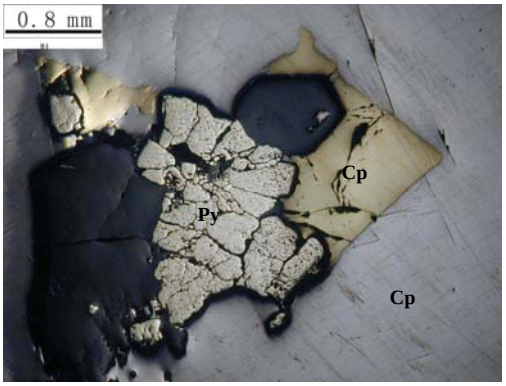
照片 34



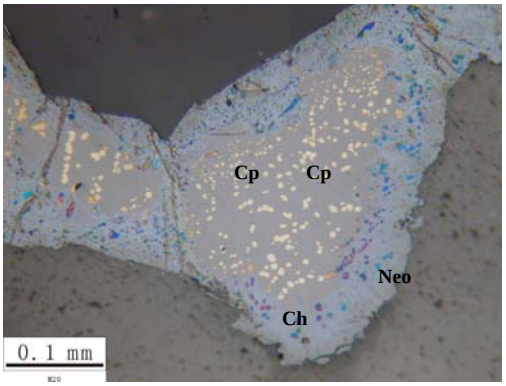
照片 35



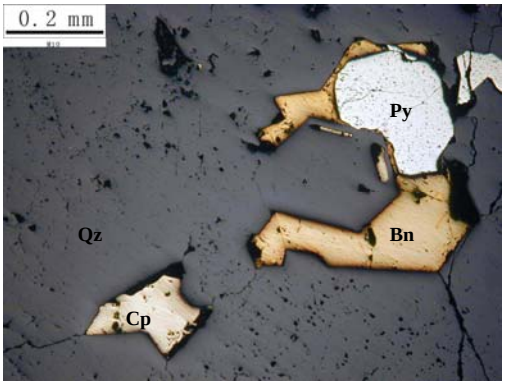
照片 36



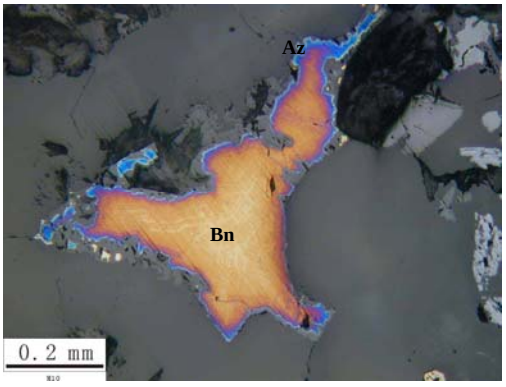
照片 37



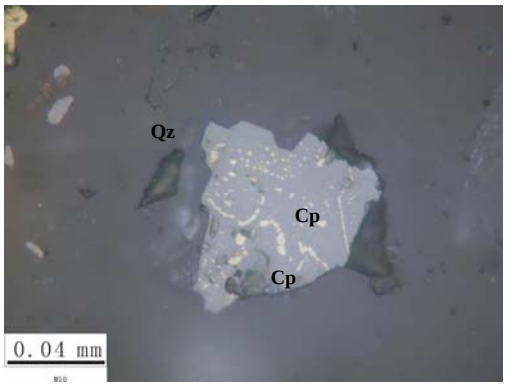
照片 38



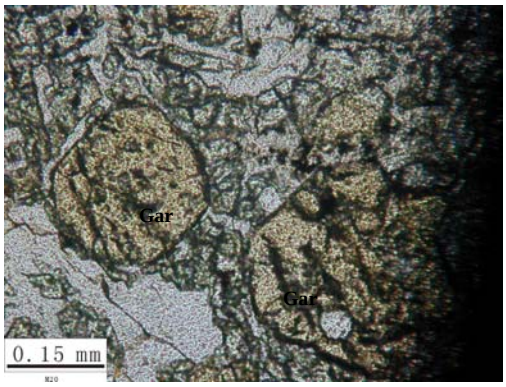
照片 39



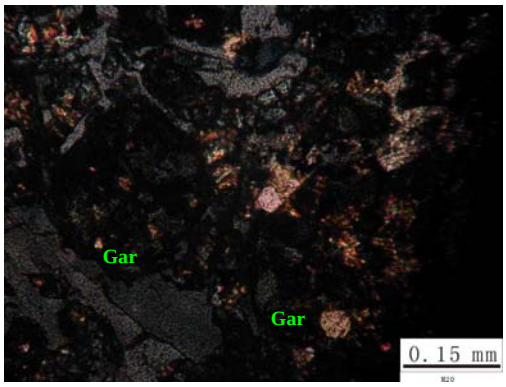
照片 40



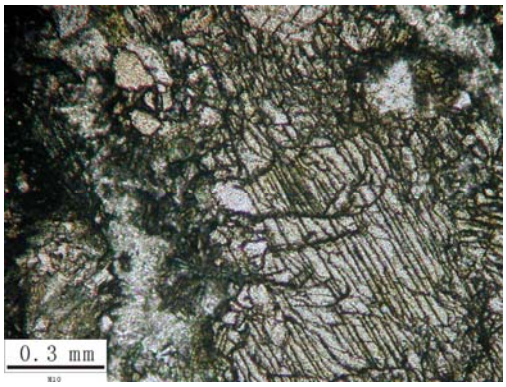
照片 41



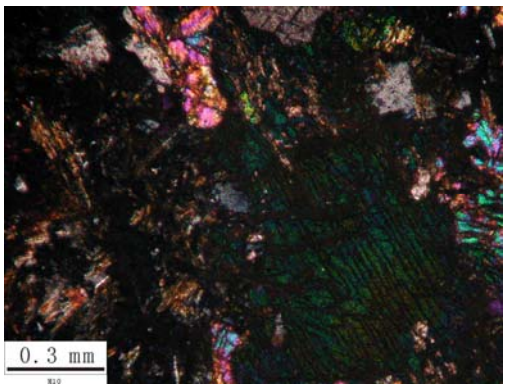
照片 42



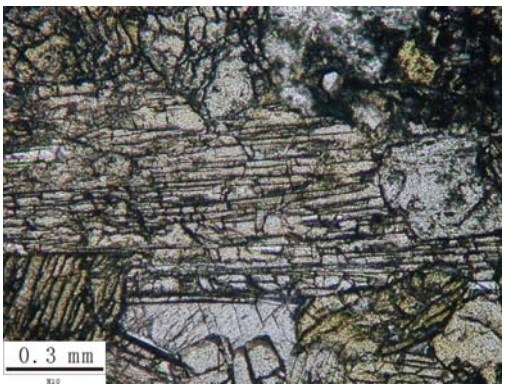
照片 43



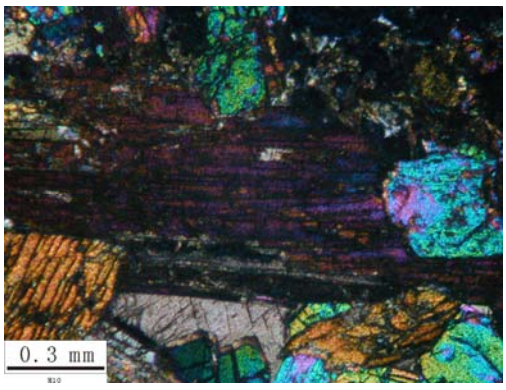
照片 44



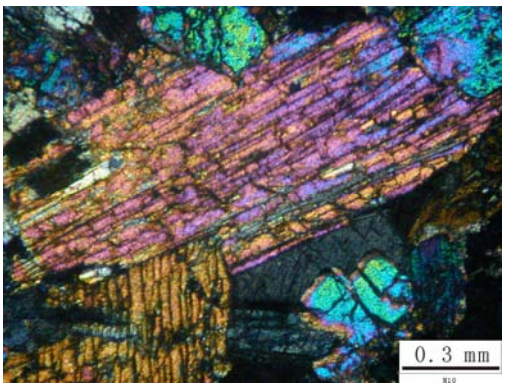
照片 45



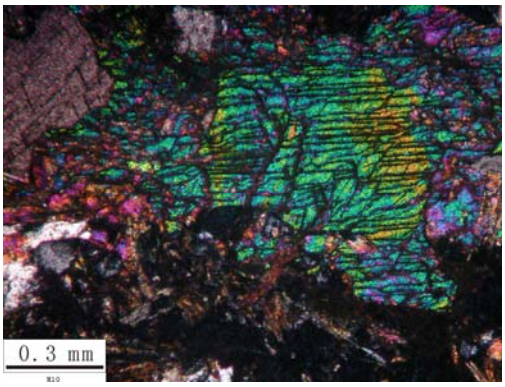
照片 46



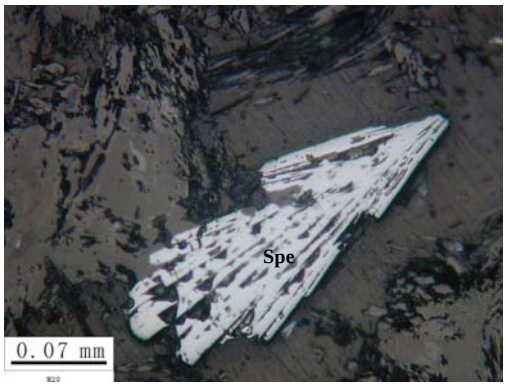
照片 47



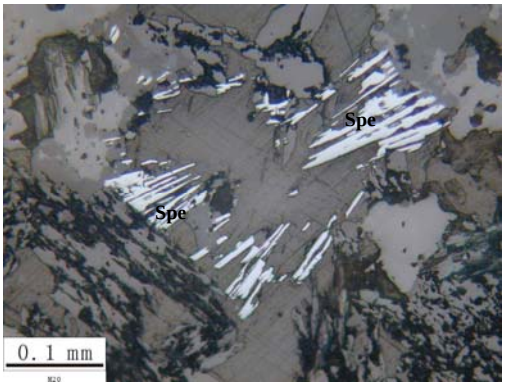
照片 48



照片 49



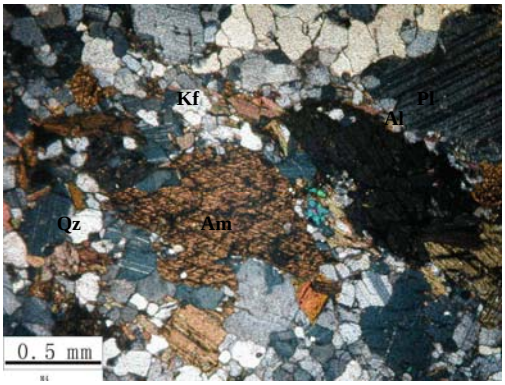
照片 50



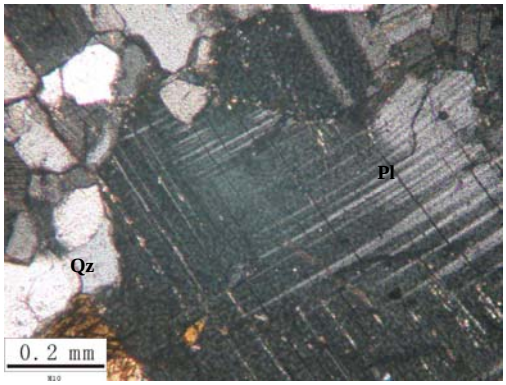
照片 51



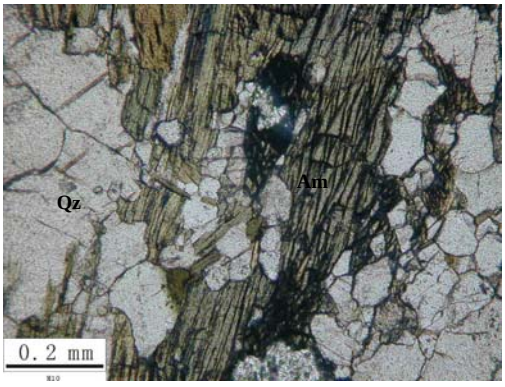
照片 52



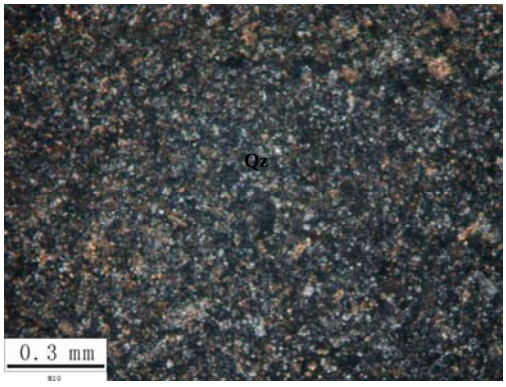
照片 53



照片 54



照片 55



照片 56

致 谢

本论文从选题开始到最终成文，均离不开导师邵拥军副教授的悉心指导和细心关怀。在研究生在读阶段，导师无论在学习上还是生活上，都给了我莫大的帮助。在我学习有疑问的时候，导师总是不厌其烦的给我讲解、演示；在谈论工作态度的时候，导师总是语重心长的教导我要脚踏实地、认认真真；在野外工作的时候，导师总是身先士卒，不辞劳苦，善于发现问题，寻找开展工作的突破口。导师严谨治学、孜孜不倦的敬业精神，为人谦和、处世豁达的高贵品质，因势利导，循循善诱的教学方法值得我永远的敬佩，值得我用一生去学习。天高有际，海深有底，导师的教育之恩却让我受益无穷。导师将是我今后工作、生活中的典范，是我人生航程里那盏最璀璨耀眼的明灯。

论文研究中还一直得到课题组彭省临教授、赖健清教授、谷湘平副教授、杨牧副教授、杨斌副教授的指点和教导；攻读硕士研究生期间，戴塔根教授、胡祥昭教授、吴堑虹教授、高光明副教授、朱余德副教授、刘继顺教授、奚小双教授、刘亮明教授、黄满湘副教授、吴湘滨教授等老师授业解惑；河南省有色金属地质勘查总院李永锋高级工程师在野外工作以及论文资料收集中也给予了不少关心和帮助，在此对他们表示衷心的感谢！

另外，在三年的研究生学习生涯中，05 级研究生同学及地洼所所有的师兄弟们给予我莫大的支持，授我友情，排我忧愁；远在家乡的父母和亲朋好友给予我莫大的鼓励，授我温暖，树我雄心。在此，我向他们致以深深的谢意！

攻读学位期间的主要研究成果

参与的科研项目：

1.2006.1～2006.12 参与“山西繁峙县义兴寨金矿深边部找矿预测研究”项目

2.2006.1～2008.12 参与铜山铜矿接替资源定位预测示范研究专题——“十一五”国家科技支撑计划项目“危机矿山接替资源勘查技术与示范研究”（编号:2006BAB01B07)

3.2007.8～2007.12. 参与“青海省阿尔金成矿带 1/5 万遥感地质调查解译及成矿信息提取项目(有色地调中心)”

4. 2007.7～2007.12 参与“中热红外多/高光谱矿物填图及遥感异常信息提取技术应用研究(有色地调中心)”

发表的学术论文：

[1]张贻舟，邵拥军，贺辉，张革利.义兴寨金矿化探数据数理统计分析[J]. 全国第三届矿山地质会议论坛论文集:中南大学出版社，2006:180-184

[2]邵拥军，张贻舟，刘明，贺辉.个旧与凹陷带有关的控矿因素的初步认识[J].全国第三届矿山地质会议论坛论文集，2006:256-257

[3]邵拥军，张贻舟，刘明，贺辉.浅议隐伏矿体定位预测.全国第三届矿山地质会议论坛论文集，2006:185-188

[4]邵拥军,张贻舟,张建东,丁宗炜，陈星霖,刘忠法.Formation mechanism of breccia pipe types in Yixingzhai gold deposit[J].Journal of Central South University of Technology,2008，15（1）:89-94

[5] 邵拥军，贺辉，张贻舟,等.基于 BP 神经网络的湘西金矿成矿预测[J].中南大学学报(自然科学版)，2007，38（6）：1192－1198

[6]贺辉,邵拥军,张贻舟.成矿动力学数字化模拟研究进展.2005年湖南省矿物岩石地球化学论丛：中南大学出版社，2005:246-249

[7]邵拥军,李永峰,张贻舟,胡荣国.山西义兴寨金矿床定位规律及找矿方向[J].矿床地质，2006，25 卷增刊:479-482

[8]贺辉,邵拥军,张贻舟.基于 BP 神经网络的湘西金矿深部储量预测研究[J].全国第三届矿山地质会议论坛论文集：中南大学出版社 2006:189-193

[9]邵拥军,贺辉,张贻舟.浅议隐伏矿体的勘探准则[J]. 2005 年湖南省矿物岩石地球化学论丛，2005:197-199

[10]彭南海,贺辉,张贻舟,菲律宾.Samar 省 BARI 矿区铝土矿矿床地质特征[J].2005 年湖南省矿物岩石地球化学论丛，2005:193-196

[11] 邵拥军,彭省临,赖健清,刘亮明,张贻舟,张建东.凤凰山铜矿床两类成矿岩体的厘定及其成因分析[J].岩石学报，2007，23（10）：2471-2482