分类号：P62　　密　　级：公　开
U D C ：_____　　单位代码：10424

学 位 论 文

韧性剪切带及其控矿作用研究

——以沂沭断裂带中段为例

孔 红 杰

申请学位级别：硕士学位　　专业名称：矿产普查与勘探
指导教师姓名：杨 锋 杰　　职　　称：教　　授

山 东 科 技 大 学
二零零五年五月

论文题目：

韧性剪切带及其控矿作用研究

——以沂沭断裂带中段为例

作者姓名：孔红杰　　入学时间：2002 年 9 月

专业名称：矿产普查与勘探　研究方向：矿产勘查与评价

指导教师：杨锋杰　　职　　称：教　　授

莫德鼐　　教　　授

王来明　　教　　授

论文提交日期：2005 年 5 月

论文答辩日期：_____

授予学位日期：_____

STUDY OF THE DUCTILE ZONE AND ITS CONTROL OVER METALLIZATION

——TAKE A EXAPLE OF GOLD DEPOSIT IN THE MIDDLE SECTION OF THE YI-SHU FAULT BELT

A Dissertation submitted in fulfillment of the requirements of the degree of

MASTER OF ENGINEERING

from

Shandong University of Science and Technology

by

kong hongjie

Supervisor: Professor Yang Fengjie

Geoinformation Science and Engineering College

May 2005

声　　明

本人呈交给山东科技大学的这篇硕士学位论文，除了所列参考文献和世所公认的文献外，全部是本人在导师指导下的研究成果。该论文资料尚没有呈交于其它任何学术机关作鉴定。

硕士生签名：

日　　期：

AFFIRMATION

I declare that this dissertation, submitted in fulfillment of the requirements for the award of Master of Engineering in Shandong University of Science and Technology, is wholly my own work unless referenced of acknowledge. The document has not been submitted for qualification at any other academic institute.

Signature:

Date:

摘 要

沂沭断裂带中段金矿床的龙泉站金矿地处山东省沂水市。是一典型的受韧性剪切带控制的韧性剪切带型金矿。该矿床位于中国东部最大的断裂带沂沭断裂带的中部，属于不同构造叠加复合部位，成矿条件十分有利。

区内太古代地层作为具绿岩带性质的一套火山-沉积建造，其金的背景值明显高于克拉克值，是该区金矿的主要矿源层之一。根据岩石镜下分析以及岩石化学分析对比，可以看出该矿床金的来源主要有两种：①基性火山岩系；②热液含金流体。

矿床矿石矿物组成较简单，金属矿物以黄铁矿为主，其次为黄铜矿，有一定量的自然金；脉石矿物主要为绿泥石、石英、绢云母及碎斑岩中的斜长石等。矿石构造以条带状、角砾状、脉状、浸染状和团块为主；矿石结构以自形、半自形、它形为主，其次为包含结构、交代结构等。

龙泉站金矿床产于沂水——汤头断裂带的破碎带汞丹山凸起区，金矿化遍布整个矿区所有的岩性层，明显属于构造控矿，与所处的岩性层没有太大的关系。区域性韧性剪切带控制了矿床的展布，而次级韧脆性剪切带(控矿剪切带)控制了富矿体的分布，后期的脆性构造对矿体有一定的改造、破坏作用，同时也加强了金的再一次富集。强烈的变形构造机制是金矿床形成的主要动力学、运动学机制。韧性剪切带既是导矿构造，也是控矿、容矿构造。

韧性剪切带型金矿床中金主要富集在应变最强部位和韧性向脆性转换的部位。

关键词：沂沭断裂带；龙泉站金矿；韧性剪切带；构造控矿；成矿预测

ABSTRACT

The longquanzhan gold mine in the middle section of the Yishu fault zone is located in Yishui city Shandong province. The longquanzhan gold mine is a typical ductile gold mine, which has been controlled by ductile shear zone. this mine lies in Chinese east biggest fault zone—Yishu fault zone, which belongs to different structure overlay compound position, It is a very prospecting ore-forming region.

Archeozoic layer in the district is a set of volcanic and deposit build, which is the character of greenstone belts. Archeozoic layer in the district golden background value is higher than Clark value obviously. It is one of the major mine sources in this district golden mine. Based on the rock analysis under the microscope and compare of the rock chemical analysis, it can see that the mineral gold origin chiefly possess two kinds: ① the volcanic rock; ②golden fluid medium of hot liquid.

Minerals in mine are made up simpler, the metal minerals are pyrite, chalcopyrite in second, and little gold; the veinstone minerals are chlorite, quartz, sericite and feldspar etc. the structure of mineral stone is priority to strip shape, brecciform, veins shape, dip-dye shape and gobbets shape; the framework of mineral is composition with self form, semi-self, its form, embody composition and substitute composition in second.

The longquanzhan gold mine bed lies in yishui-tangtou fault zone and gongdanshan horst. The gold minerization is found in all crag of entire mining area, it's obvious pertain to the structure controlled mine, have no very much great relationship in the crag straturm. Exhibition of the deposit is controlled by the regional ductile shear zone, and the ore's distrbution has been controlled by the secondary ductile shear zone(controlled mine ductile zone), the brittleness structure of later stage possess the specified reconstruction and damage to the mineral ore, at the same time it also strengthened gold once more

wealthy anthology. The deformation intensely mechanism is the main kinetics and kinematics mechanism, which controlled the gold mine bed's form. Ductile zone is not only the structure of guides in mine, but also the structure of controlling mine and Rong Kuang constitutes.

The places of gold ore are mainly in the powerfulness place and in the place which is from toughness to brittleness conversion.

Keyword: yishu fault zone; longquanzhan gold mine; ductile shear zone; the forecast of gold mine

目 录

1 绪论 1

1.1 课题来源 1
1.2 国内外研究状况 1
1.3 选题依据及研究意义 2
1.4 研究任务与工作流程 3

2 区域地质概况 4

2.1 自然地理及经济概况 4
2.2 区域地质背景 5
2.3 研究区地质特征 10

3 矿床的地质特征 19

3.1 矿体的主要特征 20
3.2 矿石质量特征 22
3.3 成矿阶段 27
3.4 金的富集规律 28

4 韧性剪切带构造特征及其对金矿的控制作用 32

4.1 韧性剪切带控矿理论 32
4.2 矿区韧性剪切带的重新认识 34
4.3 矿区韧性剪切带控矿特征 41

5 多元数据分析及成矿预测 44

5.1 多元数据采集与分析 44
5.2 控矿因素分析 61
5.3 矿区成矿预测 65

6 结论 68

致谢 69

参考文献 70

攻读硕士期间主要成果 73

图版说明 74

图版 77

Contents

1 Introduction 1

1.1 Resource of Project 1

1.2 Study the Present Situation both Home and Abroad 1

1.3 Significance and Base of the Study 2

1.4 Studying Goal and Working Flow 3

2 the Area’s Geology 4

2.1 Natural Geography and Outline of Economy 4

2.2 the Background of Area’s Gology 5

2.3 Character of the Study Area’s Gology 10

3 Character of the Gold Deposit 19

3.1 the Character of Ore-body 20

3.2 the Character of Mineral Quality 22

3.3 Phases of Come into being mine 27

3.4 the Rule of Golden Enriching 28

4 the Character of Dutile Shear Belt and Its Control Over Metallization . 32

4.1 the Theory of Dutile Shear Belt’s Ore-controlling 32

4.2 Further Congnition to the Dutile Belt in the Gold Mine 34

4.3 the Character of Dutile Shear Belt’s Ore-controlling in the Gold Mine 41

5 Multi-data Analysis and the Gold Mine’s Perspective Prediction 44

5.1 Collection and Analysis of Multi-data 44

5.2 Analysis of ore-controlling’s factors 61

5.3 Perspective Prediction of Gold Mine 65

6 Conclusion 68

Acknowlegement 69

Preference 70

Main Work Achievement of the Author Working on Master Paper 73

Explanation of plate 74

Plate 77

1 绪 论

1.1 课题来源

本课题选题是结合导师的中央矿费项目《山东沂水县龙泉站金矿普查》的子课题《沂沭断裂带构造控金作用研究》而确定的。中央矿费项目经（国土资发[2003]20 号）文批准，山东省国土资源厅 2003 年 2 月 12 日以（鲁国土资补[2003]02 号）文批准由山东省地质调查院实施，我校为子课题单位。

1.2 国内外研究状况

受韧性剪切变质带控制的金矿床是赋存于前寒武纪变质岩地区金矿床的重要类型之一，所发现的一些大型、特大型金矿床，其地质产状均直接受韧性剪切变质带控制。例如：西澳大利亚的 Yilgarn 地块中的 Kaligoorlie 金矿，储量为该区金矿总储量的一半，占世界总储量的 1%。加拿大的魁北克 Abitibi 绿岩带地区的金矿，尤其富矿体，几乎都集中在韧性剪切带中。印度的 Kolar 太古代绿岩带中的 Kolar 金矿，不论是石英脉型或是硫化物型的金矿都分布在两条主要的韧性剪切变质带中。我国不少金矿也与韧性剪切变质带直接相关，例如华北地台南缘的小秦岭金矿，华北地台北缘的内蒙古大青山——乌拉山地区太古代绿岩带金矿、河北冀东金厂峪金矿、辽宁的南龙王庙绿岩带金矿、吉林的夹皮沟金矿，广东的河台金矿(显生宙，糜棱岩型)等，我省的玲珑金矿有的专家认为也是与韧性剪切带相关的。

韧性剪切带的研究始于二十世纪七十年代，作为韧性剪切带的构造岩——糜棱岩则是一八八五年由英国的拉普沃斯(Lapworth)首先提出，而韧性剪切带控金作用研究则是二十年前才开始的，但立即引起了全世界构造学界的高度重视，相关地质学科也就该类金矿床的地质特点、矿化特征、成矿物质来源及地球化学特征展开了同步研究，成为构造研究与成矿作用的一个研究热点。

国内外研究资料表明：

第一，韧性剪切带控制了金矿成矿中的蚀变作用，金的矿化作用与渐进变形的韧性剪切作用是同步发生的，蚀变带和金矿化作用是韧性剪切构造事件的两个侧面，韧性剪

切带是金矿床形成的良好流体通道，同时又是金矿床定位的陷井。

第二，金矿床常定位于韧性剪切变质带内，尤其是低温韧——脆性剪切变质带(韧——脆性过渡带内)，后者是金沉淀的最佳场所。低温韧——脆性剪切变质带的识别标志是超糜棱岩——糜棱岩组合，其变形变质作用温度在 200—400℃之间，总压力为 0.15—0.4GPa。

第三，富矿段常与韧性剪切变质带中的脆性破裂有关，尤其是走向拐弯部位或其宽度膨胀的位置常是金矿化富集的最有利部位。

第四，含金低温韧——脆性剪切变质带在空间分布上有以弱碱性的似斑状钾长花岗岩为主的中——酸性花岗质岩体与之相伴生。

由上可以看出，确定韧性剪切带的构造部位，岩体与构造的空间位态以及矿源层是寻找该类型金矿床的关键。

1.3 选题依据及研究意义

山东省是一个经济大省，又是一个黄金大省。山东金矿成因类型多样，赋存状态多种，是研究金矿成矿作用的理想区域。尤其是 2003 年山东地质调查院在沂沭断裂带近断裂的一侧发现了韧性剪切带中的金矿体，并求得了一定的地质储量，为山东金矿找矿工作开辟了一个全新的天地，也为在巨型断裂带找矿提出了一个有意义的研究课题。

众所周之，沂沭断裂带是我国东部一条最负盛名的深大断裂带，自二十世纪 20 年代以来，一直备受地质学界所重视。长期以来，地质学界对其进行了几何学、运动学、动力学等基础研究，地震系统的地震地质工作者们对其活动性曾多次开展了专题研究，但已往研究对其控矿性研究甚少。依传统的成矿理论认为，象沂沭断裂带这种巨型的深大断裂带一般是导矿运矿构造，不会成为储矿构造。现在，山东省地质调查院确定了沂沭断裂带储矿构造的存在，这就首先提出了一个沂沭断裂带断裂构造控金作用规律的研究问题，这对于后续找矿工作无疑是有益的，这就是本研究课题立项的主要依据。

黄金是国际社会的硬通货，任何一个国家的黄金储备量都是该国国力的表现。山东作为一个黄金大省，不断扩大黄金工业地质储量，实现黄金工业生产的持续稳定发展是十分重要的，对山东区域经济发展，社会进步，市场繁荣具有重要意义。本项目的研究将有助于巨型断裂带内金矿找矿工作，增加黄金地质储量。立项研究具有明显的经济效益和良好的社会效益。

1.4 研究任务与工作流程

在充分借鉴前人已获地质资料的基础上，本次研究的重点和任务是：

⑴ 运用最新的大地构造理论对沂沭断裂带及成矿背景综合分析;运用宏观与微观结合、动力学与几何学结合的构造研究方法，研究控金构造层次，建立控金构造序列谱系，初步建立研究区构造控矿识别标志；研究围岩、岩体、构造性质与部位在时空上的相关性及规律；韧性剪切带与金富集有着密集的关系，在对该构造进行详细的研究的基础上，着重研究该构造在平面上和剖面上产状的变化及其与金富集的相关性，最终揭示韧性剪切带构造控金作用特点与规律。

⑵ 以物化探、遥感为主，辅以必要的地质方法，实现构造控金远景的预测。

综合收集前人的资料，物化探和遥感资料，结合已知剖面试验，确定合理的定量计算模型，对物化探进行反演处理， 通过卫星遥感影像解译，捕捉构造控金靶段，突出和提取深部矿化蚀变特征，最终实现构造控金远景区的预测。

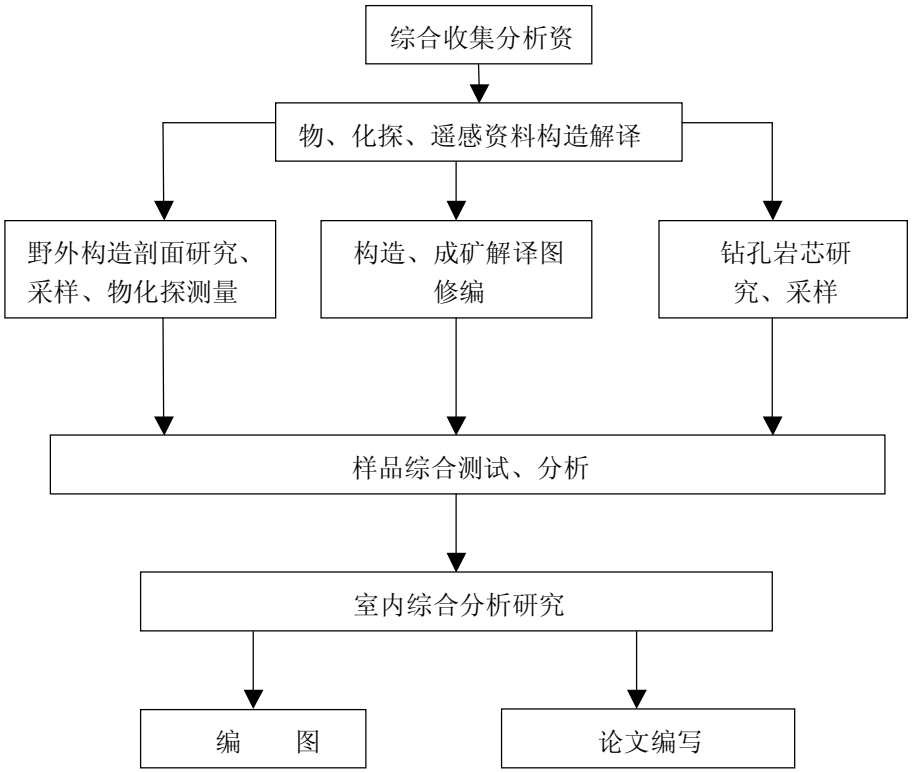


图 **1.1** 工作流程图

Fig.1.1 Flow Chart

2 区域地质概况

2.1 自然地理及经济概况

研究区位于山东省的东南部，行政区属临沂市沂水县管辖，地处沂水南部的龙泉站、石屋官庄一带。

区内交通发达，兖（州）—石（臼所）和胶（州）—新（沂）铁路、日—东高速公路、青（州）—阿（湖）省级公路纵贯全区，县城间有公路相通，各乡镇间有简易公路相连，交通十分便利（图 **2-1**）。

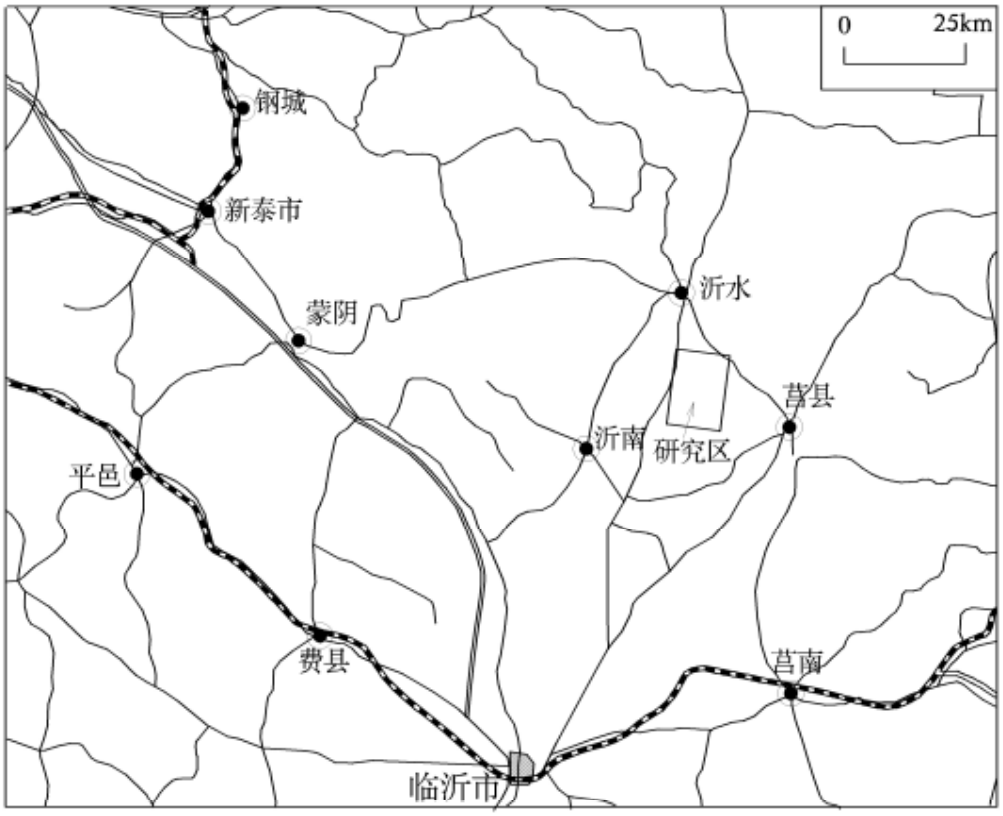


图 **2-1** 研究区位置及交通图

Fig.2-1 Position and Transportation of the Study Area

区内地貌属低山丘陵区，整体地势为北东高、向东南逐渐降低，起伏较小，海拔 **100－150** 米，相对高差一般为 **30－80m**。最高点为英灵山，标高为 **180.4m**。耕地多，覆盖广，露头较差。沂河由北而南流经研究区西侧、为常年流水河流，支流众多且多为季

节性河流。

本区属暖温带季风气候区，年平均气温 12－13℃，最高气温在七、八月份，年平均温度 26℃左右，最低温在一月份，平均-2.1℃。年降雨量一般 814.5mm，多集中在 7-9 月份，占全年降水量的 72%。

多年平均无霜期为 218 天，初霜期约在十一月上旬，终霜期约在翌年三月上旬。全年主要风向是南风和偏南风，多在春、夏两季。其次是北风和偏北风，多出现在秋冬季。多年来平均年蒸发量为 1675.80mm，说明区内较为干旱，但建有众多的水库和水坝，基本可满足工农业生活用水。区内电力充足，劳动力资源丰富。

经济以农业为主，农业产值占工农业总产值的 70%。粮食作物有小麦、玉米、地瓜；经济作物有花生、棉花、烟草、林果、桑蚕；副业以种植、饲养、农副产品加工为主。随着市场经济的发展，沂水县在机械、食品业、黄烟复烤、电力、轻纺、建材、皮革、造纸等方面发展较快，有少量的采矿业，主要开采铁矿、岩金及砂金、花岗石、石灰岩、粘土等。

2.2 区域地质背景

研究区所处大地构造位置为沂沭断裂带中段，主体部位位于汞丹山凸起区(IV 级)南部、凸起区两侧为马站——苏村凹陷(IV 级)和莒县凹陷(1V 级)（图 2－2）。

区内太古代地层及新太古代—古元古代侵入岩体组成的结晶基底在凸起区广泛出露。在凸起的两翼与凹陷区内，有古生代、中生代和新生代盖层分布。区内构造发育，沂沭断裂带纵贯研究区内部，为凸起区与凹陷区的边界断裂，也是研究区内的主干构造。次级的北东—北北东向断裂、北东东向断裂在凸起区广泛分布。基底岩系中发育有北北东、北东东向的韧性剪切构造带，是金矿的主要控矿构造。

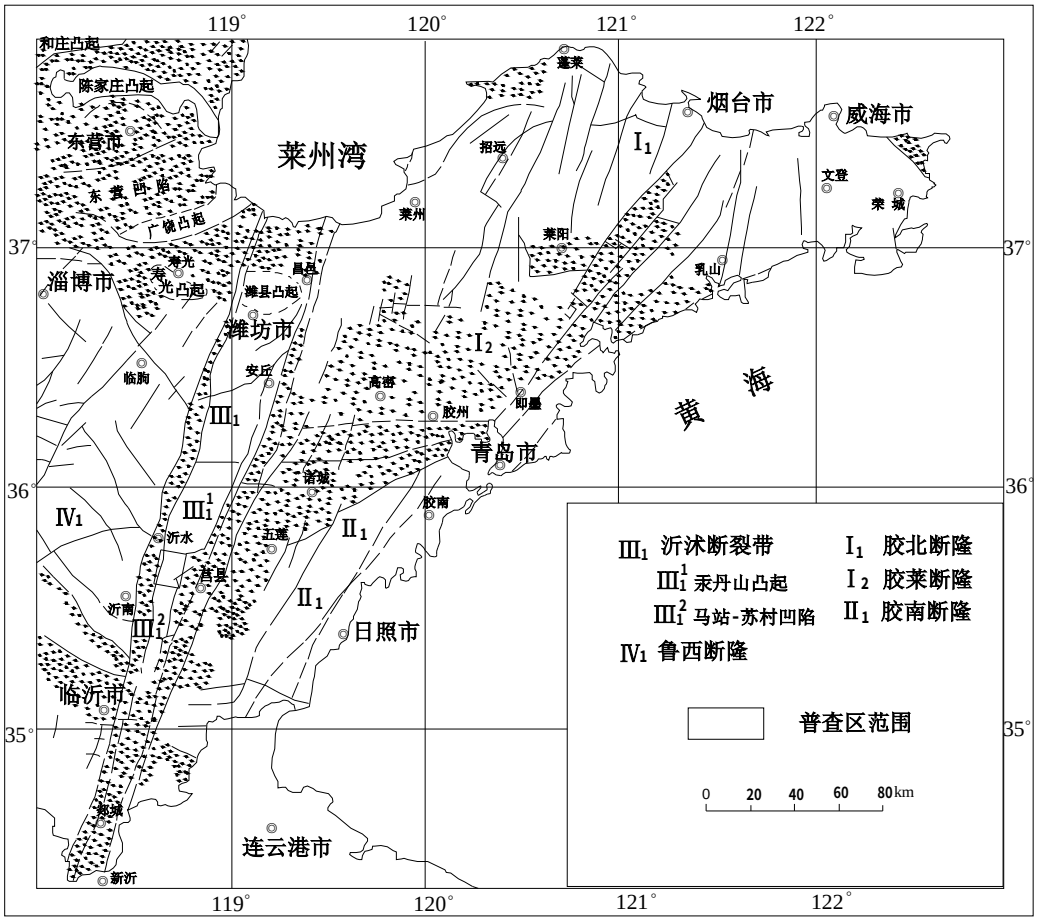


图 **2－2** 研究区大地构造单元划分图

Fig 2-2 tectonic cell divide and pursue on the earth of studying area

研究区位于沂沭断裂带中段。从矿床产出的构造部位和矿床自身特点来看，郯庐断裂为本区的成矿提供了其独特的地质背景。

郯庐断裂是中国东部一条具有悠久活动历史的复杂断裂带，在漫长的地史中，它一直是一条活动的地块接合带，它不仅记录了相邻诸断块活动历史的差异变化。而且也记录了各地质时期断裂自身运动的不同强度和力学性质。它经历了多期、多次、性质多变的构造活动历史，与平推运动、张与压、左右旋扭随时随地变换发展，而且不断受到后期构造运动的改造而具板内断裂活动的特色。郯庐断裂于中生代奠定了如今总的构造格架，是一条新构造继续活动而又有区段差别的断裂带。

万天丰等（**1996** 年）认为此断裂带开始形成于中、晚三叠世，其长度小于 **1500km**，切割深度小于 **15—20km**，此时最大左行走滑断距为 **430km** 左右。侏罗纪**(208—135 Ma)** 与中始新世—渐新世**(52—23.3 Ma)**，此断裂带表现为逆断层活动，断层面受挤压较紧闭。

白垩纪——早始新世(135—52Ma)，郯庐断裂呈现为略带右行走滑的正断层(走滑断距不超过 100km)，郯庐断裂带与其北部切割深度约为 30—40 km.中新世——更新世(23.3—0.73Ma)断裂带表现为带有左行走滑的正断层，走滑断距约 50km，断裂带切割深度在 50—80km 之间。中更新世(0 .73 Ma 以来)断裂带又变成略带右行走滑的逆断层，走滑断距不足 l00m。由于断裂带形成以来的剥蚀深度不大，地表的断层岩都是碎裂岩与断层泥（图 2-3）。

对于中国东部构造活动的这种巨大变革，近代兴起的板块构造学说可以作出比较合理的解释。板块学说指出，中生代时期全球的板块运动异常活跃。我国东部地处欧亚板块东南部，受库拉板块、太平洋板块及印度洋板块的联合作用，其中尤以库拉板块、太平洋板块向北西俯冲或欧亚板块向南东仰冲对包括中国东部地区在内的滨太平洋东亚广大地区的影响大（S. Uyeda。d A. Miyashiro，1974）。这一联合作用导致我国东部地区产生了强烈的断块破裂差异活动及多序次的岩浆岩侵入和喷发。毫无疑问，郯庐断裂在这一构造活动期中也扮演了极为重要的角色。中生代初，在库拉板块向北北西俯冲消亡及欧亚板块向南东仰冲的联合作用下，中国东部地区产生了东西分异，西部拗陷，东部隆起。随着隆起的不断扩大，上部地壳处于引张状态，并沿着早先存在的老断裂和新生断裂产生裂陷作用，在沉陷带中充填了巨厚的陆相碎屑岩建造。同时，由于北东东向的库拉—太平洋板块运动向亚洲大陆逼近（运动方向为北北西向），并逐渐倾没于东亚大陆板块之下，引起了上地幔及地壳下部温度增高，产生局部熔融。随着深部熔融物质沿地壳薄弱带贯入，产生了多次岩浆侵入和喷发。这些岩浆岩的岩石化学特征，呈现出自东向西由中酸性到中性、中基性的变化规律，可能与上述板块俯冲消亡的过程有关。

郯庐断裂位于隆起带上，中生代中期其北段与中南段沟通，并相继发生裂陷作用，由几条断裂重新活动组成宽达几公里至数十公里的大陆裂谷型断裂带。从晚侏罗世开始，特别是在早白垩世，沿断裂带及与之交汇的其他断裂有大量中基性火山岩呈裂隙式喷溢，以及中酸性岩浆岩的侵入活动。显然，郯庐断裂在这个时期的构造面貌是以裂谷特征表现出来的，带内充填了数千米厚的晚侏罗至晚白垩世的火山—沉积碎屑岩建造。在裂谷发育的整个过程中，郯庐断裂不仅经历了引张裂开阶段，而且还有过挤压扭动。晚白垩世中期之末，在北西—南东向的挤压应力作用下，郯庐断裂产生了明显的左旋挤压错动，形成了宽窄变化的挤压破碎带。到了晚白垩世末，断裂运动趋于减弱，沿带晚白垩世晚期地层（王氏组第三段）的变形远弱于以前的地层。

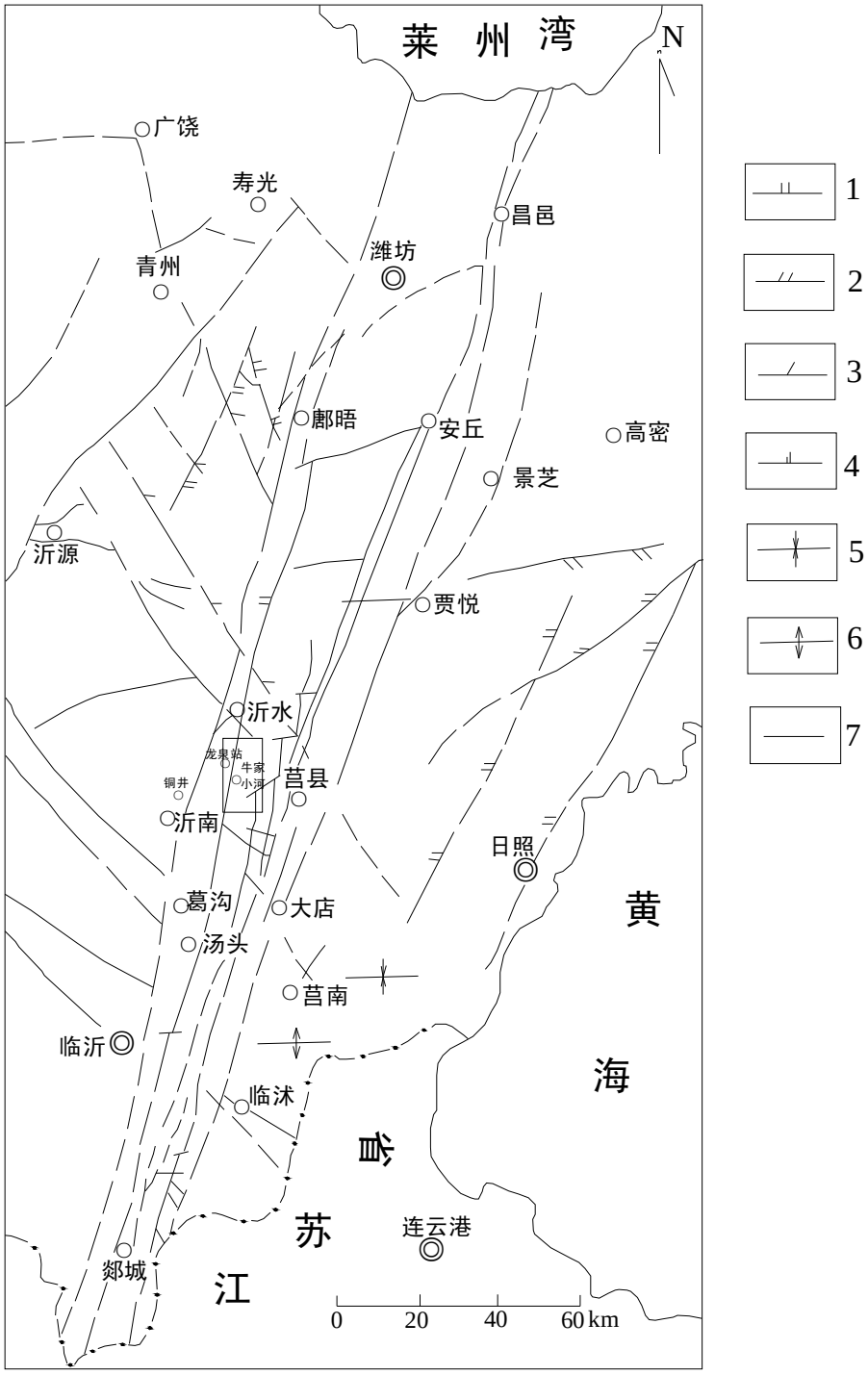


图 **2-3** 沂沭断裂带及其两侧构造简图

Fig 2-3 Yishu fault belt and its two sides structures

1-压性断裂；**2-**压压性断裂；**3-**张扭性断裂；**4-**张性断裂；**5-**向斜；**6-**背斜；**7-**断裂

不言而喻，郯庐断裂在中生代时期所经历的多次张—压（兼扭）交替更迭的构造运

动，必然牵动了两侧断块构造盆地的发育和岩浆活动。就深源物质而言，其东侧火山岩偏酸性，西侧偏中基性，郯庐断裂带内为基性，且含较高碱质，表明带内的物质来源更深些。又如，两侧的构造盆地明显不同，鲁东的莱阳盆地为拗陷型构造盆地，其内晚侏罗世莱阳组分布最广，白垩纪盆地的沉积中心逐渐西移，并向郯庐断裂方向收缩；而鲁西则展布了一系列北西向的北断南超的晚侏罗—早白垩世单断盆地，并于早白垩世回返隆起，缺失了晚白垩世王氏组沉积。

据上田和都城研究（1974），早第三纪末到晚第三纪初，原为北北西向俯冲的太平洋板块发生了转向，变成北西西向俯冲消减，并通过地幔流及向西侧压，作用于中国东北部。与此同时，印度洋板块与欧亚板块相互碰撞（Molnar，P. and P. Tapponnier，1975），产生强烈挤压，形成青藏高原，并因此而派生了向外围特别是向东的侧压力，波及中国东部。由此可见，晚第三纪以来本区处在上述两种区域构造力的联合作用下，水平应力场发生了根本性的变化，即由中生代的北西—南东向挤压转化为晚新生代的北东—南西向相向水平挤压作用为主的应力场。在此应力场作用下，郯庐断裂中、北段的活动性质和强度也随之变化，即由以中生代的左旋扭动为主，转化为新生代晚期的右旋逆推，而南段则较复杂，还受到了来自东南方的菲律宾海板块的推挤作用，它刚好位于北东—南西和北西—南东两种不同应力作用的过渡带或干涉带上。

A、沂水——汤头断裂：

沿郯庐断裂带在早白垩世构成了中国东部重要的内生金属成矿带。沂水—汤头断裂北起鄌郚东侧，经墨黑西，圈里东、高桥，沂水城东，直至汤头东，全长出露约40km，两端亦被第四系覆盖。该断裂总体走向为NE18°左右，大致与鄌郚—葛沟断裂平行，但鄌郚以北两者有相互靠拢乃至合并的趋势(据覆盖区的卫片判断)。断裂主体出露良好，尤其南段比鄌郚—葛沟断裂南段出露好得多。

该断裂东侧主要出露泰山岩群(汞丹山地垒)，西侧主要出露上白垩统王氏组，仅中部沂水一带出露有古生界。从沂水县的道托至圈里以北，该断裂断续夹有泰山岩群，古生界及下白垩统青山组的断片，所以断裂宽度大，产状也复杂。沂水以南则比较单一，仅个别地方夹厚度不大的泰山岩群和白垩系断片。因此主断裂清晰可见，野外可直接测其产状。

该断裂主断面向西倾，因此也表现为正断层，并与鄌郚—葛沟断裂一起控制了地堑内部白垩系的沉积。

沂水—汤头断裂亦见有被北西向和北东向两组断裂切割的情况，野外所见虽不及鄌

郜—葛沟断裂清晰，但在卫星照片上却同样明显。圈里一带该断裂亦被上第三系玄武岩多处覆盖，这种现象与鄌郜—葛沟断裂大致相似。

沂水—汤头断裂挤压构造也很明显，其力学性质以压扭为主，但又具正断层外貌，故可称为“压性正断层”（图 **2-4**）。

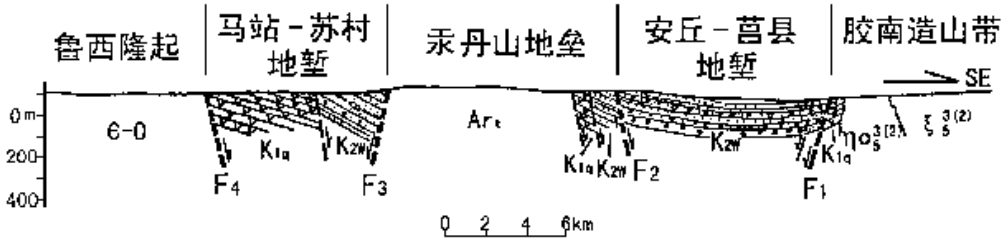


图 **2-4** 沂沭断裂带沂水段剖面

Fig 2-4 section of Yishu fault belt in Yishui

1-K_2w.王氏组；**2-K_1q.**青山组火山岩；**3-Art.**泰山群； **4-**$\eta O_5^{3(2)}$**.**燕山晚期石英二长岩；**5-**$\xi_5^{3(2)}$**.**燕山晚期正长岩；**6-F_1.**昌邑—大店断裂； **7-F_2.**安丘—莒县断裂； **8-F_3.**沂水—汤头断裂； **9-F_4.**鄌郜—葛沟断裂。

B、汞丹山凸起

该凸起主要由泰山岩群、土门群、古生界组成，但其北东部亦有少量的白垩系和上第三系玄武岩分布。凸起的西部主要由泰山岩群组成，后者多呈复杂线型倒转褶皱产出，走向以北东为主，北翼向南东倒转。在沂水附近，这些褶曲走向由近东西逐渐转向北东，似为大型古牵引褶曲。褶曲内部或其周围尚发育有规模不大、呈北北东走向成群出现的韧性剪切带，后者对前者的形成可能有所影响。凸起的东部分布有古生界，多呈向东倾的单斜产出。由于安邱—莒县凹陷的白垩系超覆在汞丹山凸起的东北部，所以那里也有少量白垩系呈极平缓的向东倾的单斜产出。汞丹山凸起东部还见有少量燕山期中酸性岩体侵入于古生界和白垩系中，并呈岩床产出。东莞一带该凸起被东西向断裂所切，这与区域东西向构造活动有关。

2.3 研究区地质特征

2.3.1 地层

本区属于华北地层区（Ⅰ）沂沭带地层分区（Ⅱ），地层出露较全（表 2-1）。地层分布受区域构造控制，多呈北东—南西向展布。研究区内发育的地层，主要为中、新太古

代沂水岩群、泰山岩群的零星包体及中生界白垩系大盛群、新生界第四系等（见图 2-5）。

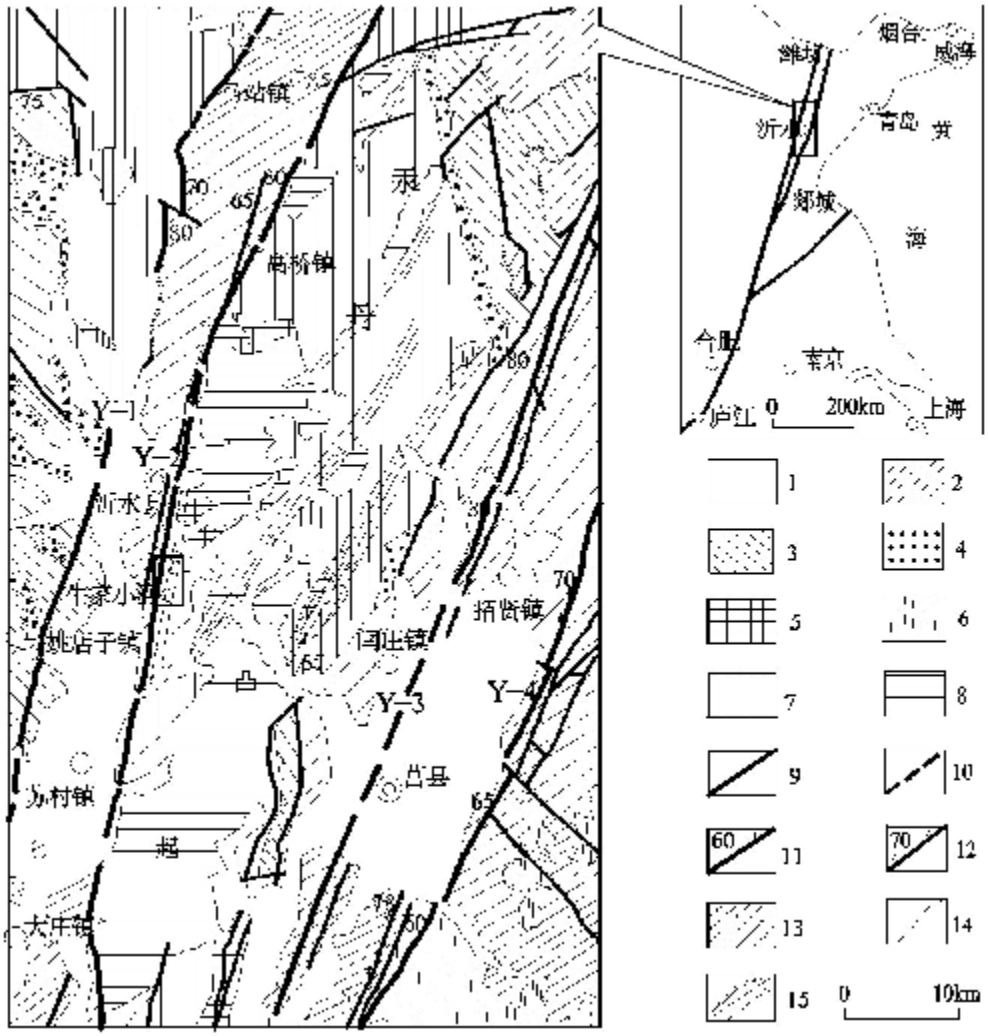


图 2-5 研究区地质略图

Fig.2-5 Geological sketch map of the studied area

1-第四系； 2-白垩系； 3-寒武-奥陶系； 4-震旦系； 5-太古宙地层； 6-燕山期花岗岩； 7-新元古代花岗岩； 8-太古宙花岗岩； 9-断裂构造； 10-隐伏断裂构造； 11-压扭性断裂； 12-张性断裂； 13-糜棱岩带； 14-地质界限； 15-角度/平行不整合地质界线；

Y-1.鄌郜—葛沟断裂； Y-2.沂水—汤头断裂； Y-3.安丘—莒县断裂； Y-4.景芝—大店断裂

中太古代沂水岩群：以包体形式残存于变质变形花岗岩中呈包体残存于变质变形侵入岩中。包体多呈条带状、透镜状，长度几到几十米不等，最大可达 500m。。主要岩性为二辉麻粒岩夹紫苏麻粒岩、紫苏斜长角闪岩、黑云变粒岩。原岩为超镁铁质—镁铁质熔岩、凝灰质及泥质砂岩夹硅铁质岩石，变质程度为麻粒岩相—角闪岩相。地层中金含量

可达 20×10^{-9}。

新太古代泰山岩群：主要分布于沂水—汤头断裂以东，呈大小不等的包体存在于变质变形岩体中。呈透镜状、条带状，长轴走向北东，出露长度 10～50m，宽度几米～十几米不等。主要岩性为斜长角闪岩、黑云变粒岩夹角闪变粒岩、透闪阳起片岩、变粒岩及磁铁石英岩、石榴石英岩。金元素背景值为 10.7×10^{-9}(n=139)。

区内太古宙地层作为具绿岩带性质的一套火山—沉积建造,其金的背景值明显高于克拉克值,是该区金矿的主要矿源层之一。

新元古代土门群：土门群分为五个岩性组，岩性为灰红色具交错层理的长石石英砂岩、蛋青色薄板状泥晶灰岩、紫色页岩等。

中生代白垩纪大盛群：属马朗沟组碎屑岩沉积，分布于区内西部沂水—汤头断裂西侧，东侧出露边界受沂水—汤头断裂控制，其岩性为紫红色、灰紫色长石含砾砂岩、粉砂岩夹薄层黄绿色粉砂岩。呈层状、薄层状，有明显的韵律变化。受沂水—汤头断裂的影响，南部倾向北西，北部倾向北东，倾角 28°～68°，一般在 30°～45°之间。

新生代第四系：主要分布于山前凹地及丘陵地区，岩性为灰黄色含砾粘土质砂层，砂质粘土层。此外，在河床及河漫滩中也有分布，主要为砾砂层、砂砾层。

表 2-1 沂沭断裂带中段地层表

Table 2-1 Stratum in the Middle of Yishu fault belt

年代地层			岩石地层		主 要 岩 性	厚度(m)
界	系	统	群	组		
新生界	第四系	全新统		沂河组	砂、砾石、泥	0.5-5
				临沂组	褐黄色粉砂、亚砂土	1-7
		更新统		山前组	褐红色粘土、砾石层、砂质粘土	1-6
中生界	白垩纪	下统	青山组	八亩地组	灰绿色安山质火山角砾岩集块岩夹安山质熔岩	357
	侏罗纪	上统	莱阳群	曲格庄组	灰绿色冶金灰质砂岩、含砾砂岩	176-103
古生界	二叠系	下统	月门沟群	山西组	深灰色泥岩、砂质页岩夹煤层	136.3
	石炭系	上统		太原组	灰色泥岩、页岩夹砂岩、灰岩和煤层	180
				本溪组	灰色——灰色铁铝质泥岩	43
	奥陶系	中—下统	九龙群	马家沟组	青灰色厚层泥晶灰岩、白云岩	695
				三山子组	灰黑色白云岩，顶部含燧石	156
				炒米店组	灰色灰岩、泥质条带灰岩、砾屑灰岩、藻灰岩	161

	寒武系	上统	长清群	崮山组	灰色薄层灰岩，夹黄绿色页岩、砾屑灰岩	33
		中统		张夏组	青灰色厚层鲕粒灰岩、藻灰岩、黄绿色页岩	260
				馒头组	肝紫色页岩、钙质砂岩、夹灰色泥晶灰岩	324
		下统		朱砂洞组	上灰岩段：灰-紫红色泥云岩、泥晶灰岩；余粮村页岩段：灰紫色页岩；丁家庄白云岩段：灰色中-细晶白云岩；下灰岩段：青灰色灰岩；	70
				李官组	灰红色石英砂岩，底为砂砾岩	0-60
新元古界	震旦系		土门群	石旺庄组	灰色细砾岩、砂质灰岩、青灰色灰岩	138
				浮莱山组	黄灰色细粒石英砂岩、夹黄绿色页岩	66
				佟家庄组	灰色长石石英砂岩、灰绿色页岩	130
	青白口系			二青山组	灰白色石英砂岩、蛋青色灰岩、紫红色页岩	140
				黑山官组	含海绿石石英细砂岩，灰色泥岩、砂岩具交错层理	9
新太古界			泰山岩群	柳杭组	二云变粒岩、黑云变粒岩	> 300
				山草峪组	黑云变粒岩，磁铁石英岩	> 1000
				雁翎关组	斜长角闪岩、角闪变粒岩、“科马提岩”	> 1000
中太古界			沂水岩群	林家官庄岩组	含透辉斜长角闪岩、含紫苏辉石斜长角闪岩、黑云变粒岩	1129
				石山官庄岩组	二辉麻粒岩夹紫苏黑云变粒岩	600

2.3.2 岩浆岩

区内岩浆岩分布广泛，主要发育有太古代沂水超单元马山单元，蒙山超单元望府山单元及早元古代傲来山超单元条花峪单元，而中生代岩岩脉零星穿插其中（见表 2-2）。

1、中太古代沂水超单元马山单元：分布于王家庄子以东，呈北北东向条带状展布，面积约 0.01km²,岩性为片麻状中粗状紫苏二长花岗岩,暗灰色—浅灰色中粗粒变晶结构，并且有微斜长石交代斜长石的交代蚕蚀、交代港湾结构。主要矿物成分为钾长石 35%、斜长石 25%、石英 25%、紫苏辉石 5%、黑云母 5%等。另有少量角闪石、透辉石。岩石中矿物定向分布形成条带状构造。为钙碱性系列酸性岩类。

2、新太古代蒙山超单元望府山单元：主要分布于郑家庄、贾贺庄、快堡等地及英灵山以东刘家岭以北，平面形态呈不规则状、包体状、残留体状等，总体分布面积约 3Km²。岩性为条带状中细粒英云闪长岩。岩石灰黄、棕褐、浅灰色，中细粒粒状变晶结构，条带状构造。矿物组成：石英 30%、斜长石 45—50%、角闪石 10%、钾长石 5—10%、

黑云母 **5—10**% 另有少量磁铁矿、磷灰石。斜长石浅灰白色，半自形板状，不规则粒状，有高岭土化、绢云母化现象；石英浅灰白色，多呈粒状集合体定向排列，常以小条带形式分布，少数呈填隙状存在于斜长石间隙内；角闪石、黑褐色，不规则，小柱状，多数已发生绿泥石化，常与黑云母构成暗色矿物条带；黑云母：片状，褐色，常构成暗色矿物集合体，呈断续走向排列。为钙碱性系列。

3、元古代傲徠山超单元条花峪单元：该单元广泛分布于区内。岩性为片麻状中细粒黑云二长花岗岩。岩石呈灰黄、褐黄色，新鲜面浅肉红色，中细粒粒状变晶结构，片麻状、弱片麻状构造。矿物组成：钾长石 **35**%、石英 **30**%、斜长石 **30**%、黑云母 **3**%。钾长石：浅肉红色，他形粒状，晶面以格子双晶为主，次为条纹双晶；石英：无色，它形粒状，有拉长现象；斜长石，灰白色，半自形—他形晶，大部分有高岭土化现象。

表 **2-2** 研究区及其邻近地区主要侵入岩一览表

Table 2-2 Intrusive Rock in the Study and Its Adjacent Area

年代单位		岩石谱系单位					同位素年龄（Ma）
代	期	超单位	压超单元	单元	岩性	代号	
中生代	燕山晚期	沂南	铜井	大朝阳	中细斑二长闪玢岩	$cD\eta\delta u_5^3$	
				铜汉庄	石英闪长玢岩	$yT\delta o\ u_5^3$	
				核桃园	细粒角闪石英闪长岩	$yT\delta o^3{}_5$	
				靳家桥	角闪闪长玢岩	$yj\delta u_5^3$	
				东明生	中细粒辉石闪长岩	$yD\delta^3{}_5$	
	燕山早期	铜井	龙宝山	龙宝山头	中斑含霓辉正长斑岩	$tL\xi o\pi^2{}_5$	
				崔家沟	中细斑霓辉二长斑岩	$tC\xi o\pi^2{}_5$	
				东马山	中细斑石英正长斑岩	$td\xi o\pi^2{}_5$	
				吴家沟	中斑角闪正长斑岩	$tW\xi\pi^2{}_5$	
				郗山	细粒含霓辉石英正长岩	$T\check{c}\xi o^2{}_5$	
				沙沟	细粒含黑云辉石正长岩	$T\check{s}\xi^2{}_5$	
			归来庄	东南沟	中粗斑含角石英二长斑岩	$tD\eta o\pi^2{}_5$	
				十字庄	粗斑二长斑岩	$tS\eta\pi^2{}_5$	174.11
				李家寨	中斑含辉石角闪二长斑岩	$tL\eta\pi^2{}_5$	

				麻窝	细斑含辉石二长斑岩	$tM\eta\pi^2_5$	
早元古代	吕梁期	红门		何家砚疃两	中细粒石英二长岩	$hH\delta o^1_2$	
				中天门单元	中粒黑云石英闪长岩	$hZ\delta o^1_2$	
		四海山		棠棣峪	中粒正长花岗岩	$sT\xi\gamma^1_2$	
				狼窝顶	正长花岗岩	$sL\xi\gamma^1_2$	
		傲徕山		松山	中粒二长花岗岩	$aS\eta\gamma^1_2$	
				条花峪	二长花岗岩	$aT\eta\gamma^1_2$	
				蒋峪	中粒黑云二长花岗岩	$aJ\eta\gamma^1_2$	
新太古代	阜平期	蒙山		龟蒙顶	片麻状中粒花岗闪长岩	$mG\gamma\delta^3_1$	
				望府山	英云闪长岩、奥长花岗岩、花岗闪长岩	$mW\tau\ o^3_1$	
				石校	细粒黑云石英闪长岩	$mS\ o\ \delta^3_1$	
		万山庄		安子沟单元	蛇纹岩、角闪石岩、角闪辉长岩、斜长角闪岩	$wA\psi^3_1$	
中太古代	迁西	沂水		严家官庄	含透辉石角闪石岩	$yY\omega^2_1$	2713
				马山单元	片麻状紫苏二长花岗岩	$yM\eta\gamma^1_2$	

4、中生代脉岩：区内中生代岩体规模小而零星，其脉岩较发育，主要有辉长岩脉、石英脉、闪长玢岩脉、细粒闪长岩脉、煌斑岩脉、伟晶岩脉等。与围岩呈侵入关系，多数 **NE** 走向，也有部分 **EW**、**NW**、**SN** 向分布。与围岩界线分明。

A、 辉长岩脉

区内分布于刘家岭村北，龙泉站东及英灵山以南地区，总体上呈 **NNE**、 **NE** 向，呈脉状、不规则状侵入于望府山单元中细粒英云闪长岩及条花峪单元中细粒黑云二长花岗岩中，除刘家岭村北、辉长岩规模稍大外，其它规模都较小，长度 **100-500m**，宽度 **l-20m**。岩石呈灰绿、灰黑色，细粒辉长结构，块状构造。矿物成分主要为斜长石、辉石。岩石常绿泥石化、高岭土化，金含量达 0.12×10^{-9}，与金矿的形成关系密切。

B、 石英脉

区内分布非常广泛，多数为 **NE**、**NNE** 向，也有部分为近 **EW**、 **NW** 向。长度从几米到几百米不等，最长可达千余米。宽 **0.l-2.0m**。石英脉呈乳白色，灰白色，中细粒结构，块状构造，少数石英脉可见绢云母化、褐（黄）铁矿化现象。在宅科村南小桥北侧，一

条长度大于 50m、宽度约 0.5 m 的褐铁矿化石英脉，具有碎裂结构，蜂窝状构造，褐（黄）铁矿化发育，呈网脉状、团块状，经取样分析，金含量为 2.50×10^{-6}。

C、 闪长玢岩脉：

闪长玢岩脉为区内分布较广泛的岩脉，但规模都较小，长度几十米至几百米，宽 0.1-1m，一般为 NE、NNE 向。岩石黄褐、灰绿色，斑状结构，块状构造。斑晶主要为斜长石，其次为角闪石，含量在 15%左右，粒度 0.2-1.5mm，基质为显微粒状的斜长石、角闪石等。岩石具绿泥石化、高岭土化，个别褐（黄）铁矿化，金含量一般小于 10×10^{-9}。

2.3.3 构造

矿区位于沂沭断裂带中段、汞丹山凸起南部与苏村凹陷接合部位，东侧边界为安丘——莒县断裂，西侧大致以沂水——汤头断裂为界。工作重点区为汞丹山凸起及沂水——汤头断裂下盘的构造破碎带。区内受两大断裂影响，韧性、脆性断裂发育，地质情况极为复杂。

2.3.3.1 脆性断裂

区内脆性断裂构造主要有 NNE 向、NE 向、EW 向、近 SN 向等四组。

（1）、NNE 向断裂

NNE 向断裂是区内的主要断裂，主要有沂水——汤头断裂、刘家岭村北（155.8 米高地）断裂规模较大，是区内较重要的构造，现简述如下：

沂水——汤头断裂：该断裂是沂沭断裂带四条主要断裂之一，走向呈北北东向，自南向北沿牛家小河、龙泉站、东营、郑家庄至于家官庄水库，纵贯全区，区内出露长度约 12km，影响宽度 50—300m。总体产状 280°～295°∠35°～56°，走向上表现为舒缓波状，倾角变化较大，北陡南缓,断面擦痕、阶步、揉皱发育，其活动性质以左行压扭性为主，具多期活动特点。断裂上盘为大盛群马朗沟组砂岩夹页岩，下盘主要为早元古代条花峪单元二长花岗岩，局部为新太古代望府山单元条带状细粒英云闪长岩，带内岩石破碎，具明显的构造分带性。主断面以西，依次为砂岩质碎裂岩、碎裂状砂岩；主断面以东依次为挤压片理化带、碎裂岩带、碎裂状二长花岗岩等。在主断面东侧，岩石内普遍发育硅化、绿泥石化、绢云母化等蚀变，在牛家小河村西附近有钾化、黄铁绢英岩化蚀变。该断裂沿走向往往被后期近东西向构造错断，错距一般在 10—30m 内。区内的 1、2、3、4、5、6、7、8 号金矿体和牛家小河金矿就赋存在该断裂内。

刘家岭北断裂：该断裂位于155.8m高地，出露长度约1.6km，宽2m左右，其走向15°—28°，倾向SE、倾角61°—84°，具有南缓北陡特征，发育于晚太古代望府山单元及早元古代条花峪单元岩石中，带内构造碎裂岩发育。岩石具角砾状、扁豆状、透镜状、次棱角状，角砾成分随原岩成分不同而差异。带内发育较强的硅化、褐铁矿化、绢云母化，10号矿体赋存于该断裂内。

（2）、NE向断裂

区内NE向断裂较为发育，规模大小不一，其中以英灵山断裂、东升断裂、唐官庄断裂规模最大，现简述如下：

英灵山断裂：该断裂沿英灵山山脊整体走向NE向，延伸长约1.6km，宽度2-4m；断裂平面形态为凸向南东的弧形。以英灵山为转折端，SW段走向60°，北东段转向北东30°左右，总体倾向南东，局部反转向北西倾，倾角在70°—85°之间。带内岩石以硅化碎裂岩为主、岩石破碎较强，呈角砾状、棱角状、次棱角状，粒径一般在1-3cm，角砾成分以二长花岗质为主，硅质胶结，另外，沿裂隙也有少量碳酸盐细脉充填。在较大的裂隙和孔洞内常发育有石英晶簇，颜色以白色和紫色为主。

东升断裂：该断裂南起169.8m高地，经东升村北西角，至唐官庄南被第四系覆盖，长约1.8km，宽3-20m不等，走向45°-50°倾向南东，倾角68°。带内岩石破碎，角砾成分复杂，有花岗岩质、硅质，斜长角闪岩质等。角砾几毫米到十几厘米皆有，一般以1-5cm者居多。硅化、高岭土化、褐铁矿化发育，具金矿化显示，拣块样金含量最高102.8×10^{-9}。

（3）、EW向断裂：为一些规模较小的左行压扭断裂，切割NNE向、NE向断裂，主要为硅化角砾岩带。规模最大的为快堡断裂，该断裂长500m、宽15m，产状200°∠70°—80°，性质为左行剪切、错断沂水——汤头断裂，断距达30余米。带内岩性为硅质碎裂岩，主要矿化以铅锌和萤石、重晶石化为主，快堡铅锌矿点的主矿体就赋存在该断裂中，顺断裂出露部位存在2处以铅、锌为主的组合化探异常，异常与铅矿体对应较好，但金矿化较弱。

（4）、SN向断裂

区内SN向断裂发育较差，大多为一些规模较小的断裂，仅严家宫庄断裂规模较大，严家官庄金矿体赋存于该断裂内。

严家官庄近SN向断裂：该断裂位于严家官庄村东北、南至严家官庄村南，北至兵房岭村东南，呈近南北向延伸。出露长度1.4km，带宽4-25m。平面上呈中间膨大两头尖窄

的纺锤形，产状 265°-250°∠50°-70°，带内岩石为花岗质碎裂岩，局部为变粒岩质碎裂岩。具硅化、绢英岩化、钾化、黄（褐）铁矿化等蚀变。

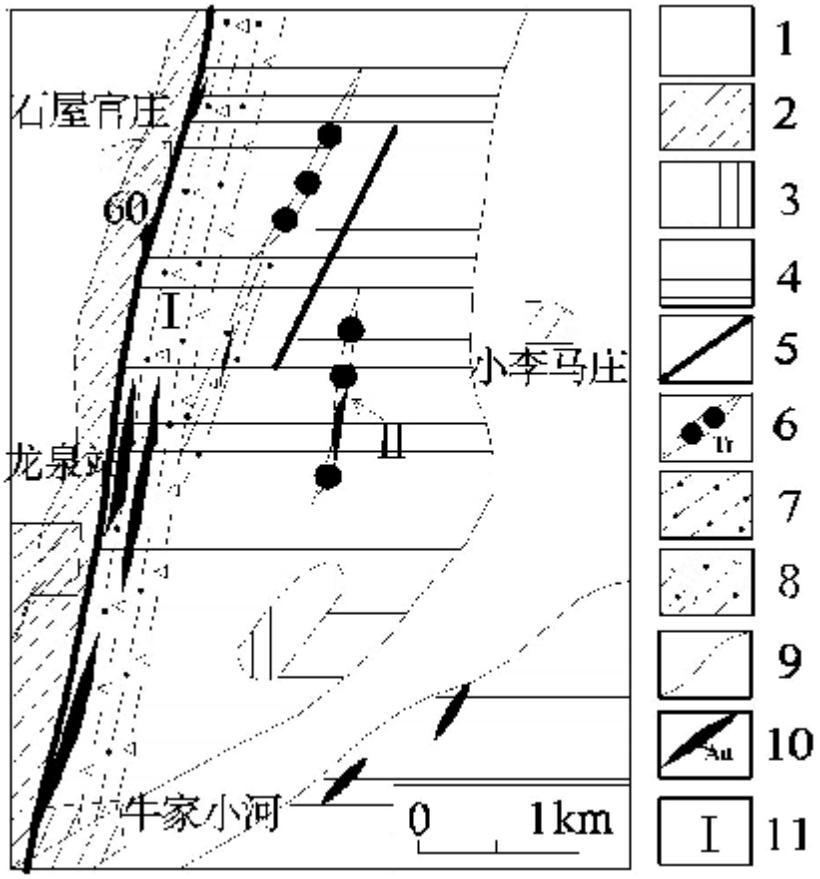
2.3.2.2 韧性剪切带

研究区内韧性剪切带非常发育，无论在不同地段各采矿、探矿坑道内，还是在地表露头上(如龙泉站剖面和不同勘探线各剖面等)，均可见到不同类型的动力变质岩广泛出露。韧性剪切带对金矿起控制作用，并为龙泉站金矿床最重要的控矿因素之一。

韧性剪切代主要发育于早前寒武纪变质变形地质体中，规模较大的主要有：牛家小河—龙泉站—郑家庄、全美官庄一胡家林、大尧、大梨行、峨山口、旋沟子—大庄坡等韧性剪切带。按其展布方向大致可分二组：其一走向近 EW 向，带内岩性有变晶糜棱岩、片麻岩，为中深构造层次：另一组为晋宁期走向 NE 向为主，由一系列变形强带及夹于其间的变形弱带构成，带内 S-C 组构发育，为中浅部构造相，韧性变形带具左旋走滑之特点。北东向中浅层次韧性变形带内构造岩主要为各种类型的糜棱岩、千糜岩,以花岗质糜棱岩最常见,具绿片岩相变形环境，带与区内金矿化关系密切。关于这一方面的内容在第四章将会详细论述。

3 矿床的地质特征

龙泉站金矿床受沂水——汤头断裂控制主要产于主裂面下盘的脆—韧性构造带中，目前已发现近于平行的矿化蚀变带两条。其中Ⅰ号矿化蚀变带是沂水——汤头断裂带的主要组成部分，是区内的主要含矿带。目前在龙泉站附近初步圈定的10个金矿体中，其中有8个矿体赋存于Ⅰ号矿化带中并紧邻沂水—汤头断裂。1个矿体赋存于刘家岭村北的Ⅱ号矿化构造角砾岩带中，另一个赋存于宅科——英灵山韧性剪切带中（图3-1）。



3-1 龙泉站金矿地质图

Fig.3-1 The Geological map of the gold field in the long-quan-zhan

1-第四系；2-大胜群马朗沟组；3-辉长岩；4-古元古代傲来山单元二长花岗岩；5-断裂构造；6-硅化破碎带；7-糜棱岩；8-破碎糜棱岩带；9-地质界限；10-金矿体；11-矿化带编号

3.1 矿体的主要特征

本区矿体主要赋存于两条矿化带中,介绍矿体特征,首先介绍矿化带的特征。

3.1.1 矿化带的特征

3.1.1.1 Ⅰ号矿化蚀变带：

Ⅰ号矿化蚀变带位于沂水——汤头断裂带主裂面下盘，其走向基本与沂水—汤头断裂带平行，呈 15—20° 方向延伸，是牛家小河—龙泉站—丰台湖韧性剪切带的组成部分。矿化带宽度受韧—脆性构造带控制，构成一韧～脆性矿化蚀变带。已做的工作控制龙泉站——石屋官庄部分，北部郑家庄地段进行了地表工程稀疏揭露，总控制长度约 2.5km，宽度 80—500m 不等，带内岩性有糜棱岩质构造碎裂岩、花岗质构造碎裂岩、局部地段充填有硅质条带或石英脉。蚀变有硅化、绢云母化、绿泥石化、绿帘石化、褐铁矿化、黄铁矿化、黄铜矿化、及铅锌矿化等，蚀变矿化强烈地段形成金矿体。

该矿化带中龙泉站—水洼地段发现 7 个金矿体、石屋官庄村北发现 1 个隐伏矿体。矿体大多规模较小，地表所见矿体比深部少，深部矿体分枝复合及金矿化较为普遍。该矿化带是区内的主要含矿带。

3.1.1.2 Ⅱ号矿化蚀变带

Ⅱ号矿化蚀变带位于Ⅰ号矿化蚀变带东侧、刘家岭村北，沂水—汤头断裂的次级构造带中，总长度 1600m，宽 10－20m。产状走向 10°－15°，倾向 SE，倾角 68°－70°。围岩是条花峪单元的黑云二长花岗岩体。带内岩性以绢英岩化构造碎裂岩为主，蚀变矿化主要为硅化、绢云母化、褐铁矿化，蚀变强烈地段形成金矿体。该蚀变带中已发现 l 个金矿体。

3.1.2 各矿体的主要特征

① 1 号矿体：

赋存于 I 矿带的西侧，紧邻沂水—汤头断裂主裂面，钻孔中仅见矿化。整体呈不规则的脉状，走向 15°，倾向 NWW，倾角：地表 45°—55°，深部 35°。控制长度 80m，厚 0.68—2.81m，平均厚度 1.83m，由地表向下具加厚的趋势，沿倾向厚度膨大、为 2.81m；在标高+35m 处尖灭。矿体品位 2.15×10^{-6}—6.58×10^{-6}，平均品位 5.79×10^{-6}，矿体品

位具有自南向北逐渐增高的趋势。

② 2 号、3 号矿体：

该两个矿体近乎平行产出，矿体特点及矿石类型一致。赋存在Ⅰ矿带东侧，呈脉状、走向 5°±、倾向 275°，倾角地表 44°—55°、钻孔中 31°。控制长度 80m。其中 2 号矿体厚 0.81-1.60m，平均品位 6.57×10^{-6}，3 号矿体厚 0.94—4.62m，平均品位 1.60×10^{-6}。两矿体均在标高+50m 处尖灭。

③ 4 号矿体：

赋存在Ⅰ矿带中部，地表厚度较薄，深部仅见矿化，为只有地表单工程控制的矿体，规模小，长 110m，顺倾向延伸 90m 尖灭，含金 1.18×10^{-6}，厚 0.88m。

④5 号矿体：

是区内的主矿体，Ⅰ矿带的中部。矿体呈脉状，沿走向不稳定，在南部地表厚度较薄，深部在钻孔仅见矿化，在另一钻孔中矿体分为两支（5—1、5—2）两矿体仅间隔为 1.66m。矿体南北延伸控制长度 420m。，厚度在 0.83—2.49m 之间，平均厚度 1.44m，地表矿体厚度比深部矿体厚度小。矿体的品位变化较大，地表品位 1.11×10^{-6}—5.48×10^{-6}，品位较低，深部品位在 1.19×10^{-6}—8.19×10^{-6}，相对较高。

⑤ 6 号矿体：

位于Ⅰ矿带的东侧。矿体沿走向不稳定，呈不规则的脉状。矿体走向 18°，倾向 NWW，倾角变化较大，地表较陡，为 62°，深部矿体产状变缓，为 38°—42°。矿体控制长度 80m。，厚度 0.83—1.25m，平均厚度 1.27m。在+40m 标高处，矿体具有分枝现象。矿体品位 1.08×10^{-6}—2.45×10^{-6}，平均品位 1.77×10^{-6}。

⑥7 号矿体：

位于Ⅰ矿带的最东侧，仅在钻孔中见到，地表仅见矿化，矿体走向与Ⅰ矿带走向一致，为 15°— 20°，倾向 NWW，倾角地表 62°，深部 45°。矿体沿走向及倾向呈脉状，走向长度 80m，倾向延伸 80m，厚度 0.89m，品位 4.38×10^{-6}。

⑦石屋官庄 8 号矿体：

位于石屋官庄村北附近，沂水——汤头主断裂面下盘不远处。该矿体为隐伏矿体，地表仅见矿化，深部中见矿，矿体走向与Ⅰ号矿化带走向一致，为 15°，倾向 NWW，倾角地表 36°，深部 30°。矿体呈脉状、沿走向长度 80m，倾向延伸 80m，厚度 0.84m。，品位 1.41×10^{-6}。

上述矿体走向及倾向严格受牛家小河—龙泉站—郑家庄韧性剪切带中的糜棱面理控

制。除 1、8 号矿体走向大致与沂水—汤头断裂平行外，其余矿体走向与沂水—汤头断裂有 3°—5°左右的夹角，各矿体的倾角基本与沂水—汤头断裂一致，向深部产状有变缓的趋势。矿体总体呈脉状、透镜体状、不规则条带状、扁豆状。地表矿体的品位较低，但矿化较普遍，深部矿化较好，显示出隐伏矿体的特征。

⑧英灵山 9 号矿体：

该矿体位于宅科—英灵山西韧性剪切带内，矿体走向 30°，倾向 SE，倾角 55°。矿体的走向及倾向受该宅科—英灵山西韧性剪切带的控制；矿体呈透镜体状，走向长度 100m，倾向延伸 50m，厚度 0.88m，品位 1.54×10^{-6}。

⑨刘家岭北 10 号矿体：矿体赋存于刘家岭北Ⅱ号矿化蚀变带中，矿体呈脉状，沿走向呈舒缓坡状，总体走向 15°，倾向 SE，倾角 70°，矿体长度 400m，厚度 0.85m，品位 3.31×10^{-6}中。

东营金矿点

位于东营村东约 500m 处，矿体赋存于 NE 向构造破碎带内，严格受断裂带控制。矿体呈脉状，矿体走向 45°，倾向南东，倾角 62°，矿体出露长度 450 米，厚度 4.48 米，平均品位 1.91×10^{-6}，矿石为硅化褐铁矿化碎裂岩，岩石中硅化、褐（黄）铁矿化，绢云母化发育，围岩为花岗质碎裂岩。碎裂状黑云二长花岗岩。

严家官庄金矿体

严家官庄金矿体位于严家官庄近南北向断裂带内，它严格受断裂带控制。矿体呈脉状，沿走向有舒缓波状变化，总体走向 355°，倾向 W，倾角 54°—70°不等。地表出露长度 1400 米，矿体最大真厚度 1.63m，最小真厚度 0.47m，平均真厚度 0.97m，厚度变化系数为 60%，属厚度较稳定矿体。矿体平均品位 4.31×10^{-6}，品位变化系数为 45%，属品位较稳定矿体，矿石岩性为硅化黄铁矿碎裂岩，矿体围岩为花岗质碎裂岩。

肖家哨金矿点

位于肖家哨村北约 500m 处，矿体赋存于 NE 向石英脉中。矿体呈脉状，走向 55°，倾向南东，倾角 40°，地表出露长度约 600 米，矿体厚度 0.96m，平均品位 1.48×10^{-6}，矿石类型为褐（黄）铁矿化石英脉，褐铁矿化、绢云母化发育，矿体围岩为细粒正长岩。

3.2 矿石质量特征

研究区内矿石按自然类型大致可分为硅化黄铁矿化糜棱岩质碎裂岩、硅化黄铁矿化

绢云母化花岗质碎裂岩、石英脉型三种。其中主要为硅化黄铁矿化糜棱岩质碎裂岩。

3.2.1 硅化黄铁矿化糜棱岩质碎裂岩

属于该类型的矿体有龙泉站Ⅰ矿化带中1、2、3、4、5、6、7号矿体、石屋官庄村北8号隐伏矿体及宅科—英灵山蚀变带中的9号矿体。地表矿石呈褐黄色，灰黑色、灰白色，褐铁矿化较为普遍，局部可见黄铁矿晶型假象。深部矿石呈灰绿色—灰黑色、浅灰红色、灰白色等，局部含石英脉，矿石具碎裂状结构，压碎结构，细脉浸染状、块状构造。黄铁矿呈浸染状，细脉状、团块状，主要分布在胶结物及裂隙中，早期黄铁矿含金性较好。石英脉有两种，一种为早期烟灰色细脉，往往含金性较好，而晚期白色石英脉一般不含金。

3.2.1.1 矿石矿物成分

矿石矿物成分较简单，金属矿物主要为黄铁矿，含量在5%左右，另有少量黄铜矿，方铅矿；脉石矿物主要为绿泥石、硅化石英、绢云母及斜长石等。

黄铁矿：根据矿物光性特征，结构特点及赋存形式可明显划分为两期：早期黄铁矿，反射色黄白色，显均质性，具中粗粒压碎结构（图版Ⅱ-1、Ⅱ-5），条带状、斑点状及细脉状构造（图版Ⅰ-30）。压碎裂隙常被后期硅化石英以及多种硫化物充填（图版Ⅱ-8）。晚期黄铁矿：反射色淡黄白色，显均质性，具中细粒自形—半自形晶粒状结构，浸染状构造，矿物颗粒大小一般在0.02-0.3mm之间，该期黄铁矿对早期黄铁矿有明显的交代及穿切现象，多分布在早期矿物周围（图版Ⅰ-18、Ⅱ-15、Ⅱ-19），晚期黄铁矿的含量略高于早期黄铁矿，早期黄铁矿为金矿物的主载矿物。

黄铜矿：反射色呈黄色，显弱非均质性，根据矿物生成顺序可划分为两期，早期黄铜矿生于早期黄铁矿的晶隙中，并对其有轻微的交代现象；晚期黄铜矿多以不规则粒状零星分布，局部成细脉浸染状或沿早期黄铁矿裂隙分布，该期黄铜矿颗粒边缘时常可见由辉铜矿构成的氧化圈。

方铅矿：反射色呈亮灰色。显均质性，矿物颗粒极为细小，常与早期黄铜矿共生，但含量较少（图版Ⅱ-6）。

脉石矿物：脉石矿物以显微鳞片状绿泥石为主，次为绢云母及粉末状的长英质碎粒，另有少量呈眼球状的钾长石、斜长石碎斑及后期碳酸盐细脉。这些新生矿物颗粒之间没有明显的轮廓界线。无规律的混合在一起，均呈现较好的定向性分布使岩石呈现条带状

构造，后期碳酸岩细脉主要以不规则细脉形式沿裂隙穿插，局部以团块状形式叠加于后期破碎岩石中。

3.2.1.2 矿石结构

矿石结构有粒状结构，碎裂结构，交代结构、填隙结构、包含结构等。

粒状结构：主要为黄铁矿、黄铜矿、方铅矿等金属硫化物呈半自形——他形粒状分布于矿石中。

碎裂结构：早期形成的黄铁矿、黄铜矿被压碎，有的呈角砾状，碎斑状，有的被后期金属硫化物或细小石英脉沿压碎裂隙充填。

交代结构：晚期形成的黄铁矿、黄铜矿等往往沿早期形成矿物的裂隙、解理及边缘交代熔融，使被交代的矿物呈港湾状、孤岛状或不规则状分布在交代矿物中（图版Ⅱ**-13**、Ⅱ**-17**）。

填隙结构：黄铁矿、方铅矿或晚期黄铁矿等呈填隙状分布于早期黄铁矿裂隙中或晶隙中，形成填隙结构。

包含结构：黄铜矿、方铅矿常包含于黄铁矿中，金矿物呈包体状态包裹于早期黄铁矿和硅化石英中。

3.2.1.3 矿石构造

常见的矿石构造有：条带状构造、角砾状构造、脉状构造、浸染状构造和团块状构造、多孔状和蜂窝状构造等。

A、条带状构造：在黄铁矿化糜棱岩质碎裂岩中，新生的绿泥石、绢云母及尚未结晶的粉末状长英质组分，均呈较好的定向性分布在矿石中，使矿石呈条带状构造（图版**Ⅰ-17**、**Ⅰ-20**、**Ⅰ-29**、**Ⅰ-30**）。

B、角砾状构造：糜棱岩质碎裂岩，花岗质碎裂岩等呈角砾状，为后期的黄铁矿，石英等矿物充填胶结，形成角砾状构造。角砾状构造是最常见、最醒目的宏观构造之一，主要由热液产物胶结大小不等的围岩角砾构成。

C、脉状构造：矿石中的各类脉状构造十分发育（图版**Ⅰ-10**、**Ⅰ-12**、**Ⅰ-13**、**Ⅰ-30**）。根据其在空间上的组合形态，可将其分为脉状和网脉状；按其大小又可将其分为脉状、细脉状和微细脉状。一般说来，热液成矿期早期形成的脉体规模大，而晚期形成的脉体规模小，如粗粒石英、黄铁矿脉体的宽度通常为数厘米，中细粒碳酸盐、石英、黄铁矿脉体的宽度通常只有几毫米，而充填在粗粒黄铁矿微裂隙中的自然金脉体的宽度则仅为千分之几毫米。按照形成方式，还可将其分为交代脉体和充填脉体；前者主要形成于热

液成矿期的早期，形状复杂，边界较模糊;而后者主要形成于热液成矿期的晚期，边界平直而分明。若按脉体的成份和矿物结构来分，又有粗粒石英、黄铁矿脉，中粒碳酸盐、石英、黄铁矿脉，细粒碳酸盐、石英、黄铁矿脉和自然金脉

D、浸染状构造：黄铁矿呈细小颗粒状不均匀地分布在矿石中。浸染状构造又可分为两种成因类型。其一是成矿热液充填构造裂隙，从热液中直接结晶出来的黄铁矿呈浸染状分布于同时形成的脉石矿物石英或石英与碳酸盐集合体中；其二是成矿热液沿裂隙交代两侧的围岩角砾，在裂隙两侧的围岩角砾中形成浸染状分布的黄铁矿。根据矿石中黄铁矿的聚集程度，浸染状构造还可细分为稠密浸染状和稀疏浸染状构造（图版 I-13、I-16、I-17、I-18、I-29、I-30）

E、团块状构造：由于成矿作用的多阶段性使黄铁矿等矿物呈不均匀的团块状、不规则状产出，矿区内具该种构造的矿石比较少。

F、多孔状和蜂窝状构造： 以黄铁矿为主的硫化物在地表条件下，经过剧烈的氧化、溶解、淋滤作用，易溶组份被带走后，形成由硅质骨架和褐铁矿构成的多孔状、蜂窝状构造。

3.2.1.4

经光片鉴定，金矿物为自然金，银金矿两种。根据 45 粒金矿物的镜下观察，金矿物呈亮金黄色，显均质性，表面有麻点、颗粒大小在 0.003-0.18mm 之间，金矿物形态以角粒状（图版Ⅱ-7）为主，次长角粒状、树枝状（图版Ⅱ-2）、串珠状及线状等（图版Ⅱ-9）。金矿物主要赋存在早期黄铁矿中，次为硅化石英中。其赋存状态以裂隙金为主，晶隙金次之，有少量包裹金，据光片中见到的 45 粒金矿物统计，早期黄铁矿中裂隙金占 58%，晶隙金为 20%，硅化石英中包裹金只有 7%，晶隙金为 16%（表 3—7）。

表 3—7 金矿物特征一览表

Table3-7 The characteristic of gold minerals

赋存类型		矿物形态									
		角粒状	长角粒状	树枝状	串珠状	线状	麦粒状	细脉状	尖角粒状	合计	比例（%）
早期黄铁矿	裂隙	11	4	3	2	2		1	3	26	58
	晶隙		6						3	9	20
硅化石英	包裹						3			3	7
	晶隙	5	2							7	16

从以上统计结果可以明显看出，金矿物主要以裂隙金，晶隙金的状态存在，而包裹金较少，只占 7%左右。

金的成色：根据对两粒银金矿物电子探针分析（表 3—8），金矿物中 Au：79.408%，Ag：20.079%，Cu：0.186%，Fe：0.603%，金矿物成色为 794。表中显示 Au、Ag 呈明显的“互补关系”,Fe、Cu、Zn 随 Au 变化的规律性不强。

表 3—8 金矿物电子探针分析结果表

Table3-8 The analysis result by electron microprobe of gold mineral component

样 号	元素分析结果（%）					
	Au	Ag	Cu	Zn	Fe	总量
1	79.742	19.867	0.222	0.000	0.717	100.002
2	79.074	20.290	0.150	0.000	0.488	100.003
平均值	79.408	20.079	0.186	0.000	0.603	100.003

(样品由山东省国土资源厅地质科学实验研究院分析)

3.2.2 硅化黄铁矿化绢云母化花岗质碎裂岩

刘家岭Ⅱ号矿化带中 1 号金矿体、严家官庄金矿体为此矿石类型。

在地表矿石呈黄褐色，灰白色，深部呈灰白色—灰绿色，黄铁矿呈细脉状（图板 I-29、I-30）浸染状、团块状分布于胶结物及裂隙中。石英主要呈脉状沿裂隙充填，局部为团块状（图板 I-28）。

3.3.2.1 矿石矿物成分

矿石金属矿物主要为黄铁矿，另有少量褐铁矿、黄铜矿。非金属矿物有绢云母、长石、石英、绿泥石等。

黄铁矿：反射色为黄白色，显均质性，细粒自形—半自形粒状结构，颗粒大小在 0.1-0.5mm 之间，多呈浸染状，细脉状或团块状分布于岩石裂隙中。

黄铜矿：反射色呈黄色，星点状构造。颗粒大小在 0.5-1.2mm 之间，该矿物往往独自产出，偶尔沿早期黄铁矿裂隙分布，其含量较少。

石英：不等粒粒状结构，一般呈粒状集合体，颗粒大小一般在 0.5-2mm。

绢云母：显微鳞片状集合体，多呈不规则的小团块状被硅化石英所包裹。

绿泥石：显微鳞片，叶片状集合体，薄片中呈绿色，该矿物与晚期石英共生。

3.3.2.2 矿石的结构、构造

矿石结构有半自形—他形粒状结构，压碎结构、交代结构，填隙结构等。

矿石构造有细脉状构造，浸染状构造，块状构造，角砾状构造等。

3.2.3 石英脉型

东营 1 号金矿体、肖家哨金矿体属该种类型，矿石为绢云母化褐铁矿化石英脉。灰白色、浅褐色，细粒晶粒状结构，压碎结构，块状构造、矿石主要由粒状硅化石英、绢云母及少量褐铁矿所组成。矿石中硅化、绢云母、褐铁矿化发育。

3.2.4 矿床围岩及夹石

矿床围岩及夹石主要有两种：糜棱岩质碎裂岩和花岗质碎裂岩。糜棱岩质碎裂岩主要分布于与韧性剪切带有关的金矿体周围，矿体与围岩界线不清，肉眼较难分别，两者仅根据糜棱岩化强度粗略判断，矿石糜棱岩化相对较强，围岩及夹石糜棱岩化相对较弱。两者的化学成分及主要矿物成分差别不大。围岩及夹石致密坚硬。花岗质碎裂岩一般分布于与韧性剪切带无关的矿体周围，矿体与围岩界线较为分明，肉眼基本可分辨。硅化、黄铁矿化、绢云母化花岗质碎裂岩型及石英脉型矿石类型的矿体周围基本为此类型的围岩。

3.3 成矿阶段

根据成矿地质环境、矿带中各种脉体的穿插关系、矿物共生组合及矿石结构构造等特征，可将龙泉站金矿形成划分为 5 个成矿阶段，其中第 3 阶段是主要的成矿阶段，即与金的关系最密切。各个阶段的主要特征如下：

第一阶段：段强硅化阶段

其代表是硅化岩，受构造影响形成片理，有的地方呈脉状，有的地方似层状，黄铁矿化为稀浸染状，颜色发白，矿化微弱。

第二阶段：钠长石英脉阶段

粉红色、浅红色、肉红色钠长石脉，白色石英细脉等侵入到绢云母片岩中，随片理一起褶皱。石英和钠长石等强烈韧性变形，黄铁矿矿化不均匀，为密集浸染状，局部成斑团、团块状、多数自形、少数不自形，金品位较低，局部部位构成矿体。

第三阶段：黄铁矿—石英脉阶段

这个阶段硫化物中除主要有黄铁矿，还有少量的方铅矿、黄铜矿。携带黄铁矿的石

英脉韧性变形，其内的围岩块、黄铁矿细脉都一起褶皱。石英脉的颜色较暗，呈浅烟灰色。黄铁矿以脉状为主，颜色灰暗，肉眼看为粉末状，缺乏自形晶的亮黄色。方铅矿分布在黄铁矿之上和粒间，黄铜矿主要在黄铁矿之内，呈滴状。自然金在黄铁矿之内出现定向排列的条状晶体，该期矿化形成主要的工业矿体，金品位高，是本区最主要的矿化阶段。

第四阶段：金属矿化阶段

热液成分主要是方铅矿、自然金和黄铜矿，他们贯入黄铁矿的韧性变形裂隙中。裂隙不规则，方铅矿和自然金、黄铜矿和自然金以及自然金都对旁边的黄铁矿有交代溶蚀的迹象。后期自然金以单一物质贯入黄铁矿的脆性破裂中，裂隙两壁平直。

第五阶段：表生矿化期

褐铁矿化比较普遍，但强度分布不均，矿床深部较弱。光片中可见到褐铁矿交代黄铁矿时，在靠黄铁矿一侧析出自然金。

3.4 金的富集规律

3.4.1 金在宏观上的富集规律

剪切带内分布着一系列的金矿体，矿体产状整体受韧性剪切带的面理和线理控制。该剪切带是本区的重要含矿带。从上述特征表明沂水—汤头断裂对该剪切带的控制是明显的，该剪切带的形成可能与沂水——汤头断裂早期活动有关。

除上述剪切带含规模较大的金矿体外，在凸起区其它韧性剪切带内也赋存金矿体或有金矿化，但规模较小，品位较低。这一现象表明，该区的脆性断裂对韧性剪切确实有一定的改造作用。主干断裂对金矿的形成作用可能由两种：**a** 直接提供物质来源，由于主干断裂均为深大断裂，断裂深切上地慢，将深部的含矿物质直接带到浅部。**b** 提供热动力来源及热液，沿主干断裂上升的热液激活了金元素，使之更有利于迁移，含金热液沿着早期形成的韧性剪切面理迁移在有利场所富集成矿。

3.4.2 金在微观上的富集规律

金的赋存状态及其粒度特征前面已作了介绍。下面从两个方面讨论矿石中金的富集规律。需要说明的是，由于未能开展单矿物研究工作，这里的讨论仅限于可见金和显微

金，并以镜下所获资料为主要依据。

3.4.2.1 金与硫化物的关系

由于矿石中的硫化物以黄铁矿(通常占硫化物的 95%以上)为主，仅有少量黄铜矿，故金与硫化物关系的讨论也主要限于金与黄铁矿之间。金与硫化物的关系早就引起了地质工作者的极大兴趣，人们惊奇地发现，尽管世界上热液金矿床的特征千差万别，但金与硫化物具有十分密切的关系几乎就是放之四海而皆准的真理。这一点，龙泉站金矿床也不例外。

前已述及，矿石中的自然金有可见金和显微金两种，后者依其赋存特点又分为包体金、晶隙金和裂隙金。野外调研和室内鉴定发现，原生矿石中的绝大部分明金都与黄铁矿有关。它们要么被包裹在早期黄铁矿中，要么产于其附近的烟灰色石英中。在显微金中，包体金和裂隙金无一例外地产于早期黄铁矿中(尽管可能存在统计误差，但不会影响这里的讨论)，晶隙金主要分布于黄铁矿粒间或其与石英晶体之间。

另外，金与黄铜矿在空间和时间上的密切关系反映出二者内在的成因联系。

上述矿石中金的产出特征无疑说明了它与硫化物的密切关系。那么为什么热液矿床中金与硫化物具有如此密切的关系呢?地质家们从不同方面、采用不同的方法、针对不同的矿床进行了大量的理论与实验研究，取得了丰富的研究成果。就本矿床而言，裂隙金及晶隙金主要是由于黄铁矿对热液中金离子具有很强的还原作用造成的。而包体金则除了与黄铁矿的还原作用有关外，还与它们沉淀时热液的物理化学条件、各自元素的浓度、二者的结晶能力及结晶速度等因素有关。

另一方面，我们也注意到不同类型黄铁矿的含金性差异极大，这反映出金沉淀对黄铁矿的选择性。就一般规律而言，细粒黄铁矿比粗粒黄铁矿含金性好；晶形复杂(如四角三八面体、五角十二面体及各种聚形)且完好程度差的黄铁矿的含金性好于晶形简单(如立方体)且完好的黄铁矿。而该矿床中几乎所有的显微金以及大部分明金都与早期黄铁矿有关，少量明金赋存在硅化石英中。到目前为止，尚未在晚期黄铁矿中见到任何形式的明金和显微金。仅从明金和显微金来看，该矿床中金与不同特征黄铁矿之间的关系似乎与上述规律相矛盾.这一方面说明金与黄铁矿关系的复杂性和多样性,同时也说明该矿床在形成过程中，还有其它因素控制着金的成矿作用。

3.4.2.2 金与韧脆性变形构造的关系

有关韧脆性变形构造的特征在有关章节作过详细说明，这里仅介绍矿石中出现的与金富集有密切关系的显微韧脆性变形构造。

（1）矿石中微韧脆性变形构造特征：

矿石中韧脆性变形构造十分发育。在野外和手标本上，韧脆性变形构造主要表现为石英的压扁、拉长并定向排列（图版 I-9）。在显微镜下，早期硅化石英中普遍发育波状消光、亚颗粒、变形纹和变形条带（图版 I-25，I-20）等韧脆性变形构造特征。而这些特征在晚期白色石英中却极少见到。同样在早期黄铁矿中由韧脆性变形作用形成的显微裂隙十分发育。这些显微裂隙要么切穿整个矿物颗粒，但不切割其相邻矿物；要么从矿物颗粒边缘延伸到其内部；有的甚至就发育在矿物颗粒内部。镜下鉴定表明，它们只发育在早期黄铁矿中，在晚期黄铁矿中没有见到类似构造。从上述特征来看，这些显微裂隙是典型的韧脆性变形产物，不切穿矿物集合体是它与脆性裂隙的最大区别。而且可以断定它们一定形成于第一和第三成矿阶段之间。

需要特别说明的是，由于成矿过程中构造的多次活动，矿石中除了上述典型韧-脆性显微裂隙外，脆性裂隙也很发育。它们通常切割矿物集合体，并使之发生位移。早期黄铁矿可被破碎成大小不等的棱角状、不规则粒状，被后期热液产物胶结后形成角砾状构造。这些脆性裂隙与金的关系远不及前者密切。

（2）裂隙金的沉淀机理：

关于金在热液中迁移形式的研究，近些年来取得了长足的进展。金在热液中主要以络合物形式迁移，并以热液中配位体种类、热液物理化学性质的不同，可能呈多种形式迁移的观念已逐渐被人们所接受。尽管金在自然界中可能以两种价态：三价和一价出现，但研究表明，在天然热液中金主要以一价离子的各种络合物和 Au0(溶胶)形式存在。与 Au^{+}相比，热液中 Au^{3+}的含量完全可以忽略。从矿化和蚀变产物成份分析，该矿床在形成过程中，金在热液中的主要迁移形式很可能是一价金的硫氢络阴离子。

根据矿石结构构造和裂隙金的赋存特点可以判断，矿石中的裂隙金形成于引起早期黄铁矿和早期硅化石英发生韧-脆性变形的构造事件之后，即发生在第三至第四成矿阶段。此时，呈硫氢络阴离子形式迁移的一价金离子随着物理化学条件的变化(通常是温度、压力下降，pH 降低和 Eh 升高)而逐渐变得不稳定，并最终在合适部位沉淀下来。问题是金为什么要沉淀在早期黄铁矿中的显微裂隙中，而不象与之共同迁移的黄铁矿、碳酸盐和石英那样充填在更为开放、规模更大的裂隙中呢?就成矿作用的规律性而言，在热液矿床的形成过程中，不同规模的构造裂隙往往起着不同的作用。区域性深大断裂是含矿热液运移的重要通道，但其良好的贯通性并不适宜于成矿物质的大规模沉淀与集中，而只有一些小规模矿体或矿化痕迹，如矿化蚀变和浸染矿化。而规模较小的次级裂隙往往是

成矿热液中浓度较大的物质(通常以脉石矿物为主)沉淀的场所，如该矿床控矿构造带中充填的大量石英和碳酸盐类矿物。众所周知，金是贵金属，无论是其在地壳中的丰度还是在天然热液中的浓度都是很低的。这种构造带仍然无法使金富集。而矿石中由韧脆性变形作用形成的显微裂隙规模极小，且具有半封闭性(相对于其它裂隙的贯通性而言)，是金富集的理想场所。至于金主要赋存在早期黄铁矿中则是因为在上述几个成矿阶段中，只有早期的产物经受了这种韧脆性变形作用，而在早期黄铁矿和早期硅化石英中，只有前者的显微裂隙十分发育，再加上黄铁矿对金的强烈的吸附、还原作用，就决定了早期黄铁矿是金的最佳载体矿物。

综上所述，由宏观和微观的特征分析，该研究区的金矿类型为破碎蚀变岩型金矿。主要矿床有龙泉站、南小尧、牛家小河，矿床最大特征是受叠加在脆性构造中的韧性剪切带控制。以龙泉站矿床为代表。龙泉站金矿床位于南小尧—龙泉站—牛家小河含矿带的中部，该含矿带平行沂水——汤头断裂，矿床由近十个小矿体组成，矿体倾向受糜棱面理控制，走向与线理走向基本一致。韧性剪切带对矿体的控制明显，韧-脆性、脆性断裂对矿体后期富集起重要作用。

4 韧性剪切带构造特征及其对金矿的控制作用

韧性剪切带（**Ductile shear zone**）意指在地壳较深层次中,岩石在剪切作用下发生强烈塑性变形,形成狭窄线形分布的各种塑性剪切流动构造,并使其两侧的岩石岩层发生不同量级的位移、错动和变形但又无明显的不连续断面，总体是一线性带状分布的强烈变带，即线状高应变带。韧性剪切带有以下几点特征：①韧性剪切带是线状高应变带，无明显断面，但却使两侧岩石发生不同量级的位移错动和变形；②高应变主要表现为岩石发生强烈塑性变形，如新生面理、片理、线理、不对称旋转构造、糜棱岩带和线性雁列脉等；③带内发育各种塑性流动显微构造等。

4.1 韧性剪切带控矿理论

韧性剪切带型金矿也称韧-脆性剪切带型金矿或含金剪切带型金矿，它是指受韧性、韧-脆剪切构造系控制的矿床，既包括传统的含金石英脉，也包括由各类岩石破碎蚀变形成的浸染型矿床。金矿化是在长期的剪切作用过程中逐渐形成的，剪切作用不仅是控矿因素而且是重要的成矿机制。

4.1.1 韧性剪切带控矿作用和成矿作用

根据韧性剪切带的规模可以分为一级和二级构造：一级构造切穿地壳的区域性大型构造带；二级构造是一级构造的次级单元，其分布及运动方向受一级构造制约。根据韧性剪切带中岩石的变形特征，可以分为韧性剪切带、脆-韧性剪切带、韧-脆性剪切带和脆性剪切带，它们形成于地壳的不同深度，大型剪切带的深部为韧性变形，岩石发生糜棱岩化和强片理化，两盘有显著的位移，但无不连续断面；浅部为脆性变形；中部为脆-韧性转换带。韧性剪切带和脆性剪切带除了在同期变形中因构造层次不同发生空间转换外，还可以在不同变形期中相互叠加，如早期的韧性剪切带抬至地壳上部后，可以叠加脆性变形。**F.Robert** 和 **A.C.Brown(1986)**还进一步将剪性带内的裂隙区分为剪裂隙和张裂隙。

韧性剪切带型金矿总体展布受一级构造制约，但往往具体定位于二级构造内。**B.N.Eisenlohr** 和 **D.Groves(1989)**认为这是由于二者物理化学条件不同造成的。一级构造是流体流经的通道，是高温带有利于金的溶解；二级构造温度较低，利于金的沉淀。

含金剪切带常具有韧性和脆性变形的组合特征，对此，R.H.Sibson 等（1988）和 E.M.Cameron 等（1989）认为金矿形成于脆—韧性转换带位置。E.M.Cameron 等（1989）认为大型剪切带上宽下窄，脆—韧性转换带象咽喉一样，流体从韧性带到脆性带时，压力的突然降低是矿物沉淀的主要机制。李德威（1993）持不同的观点，他认为大多数含金剪切带是由韧性剪切带经抬升后叠加脆性变形的结果。

大量的资料研究表明，金成矿区（带）受地壳级韧性剪切带控制；金矿床受次级韧性剪切带的控制；金矿化受韧性剪切带的变形强度控制；含金石英脉受韧性剪切带内裂隙的控制。韧性剪切带控制的金矿与韧性剪切带的关系大致可分为两种：一种为同时关系，另一种为间断关系。

同时关系是指成矿作用与剪切变形作用发育在同一地质事件之内，矿床的形成与剪切变形的演化同步进行或稍稍滞后。根据许多学者（Bonnemaiso 等，1986，1990；Colvine 等，1988；Hodgson，1989）的研究，在这种情况下剪切变形作用和成矿作用往往要经历多幕多阶段的演化序列。一般来说早期在强烈剪切变形和热液蚀变的双重作用下，在剪切带的核部形成浸染状的金矿化；接着是石英脉的形成，随后在韧—脆性变形条件下，石英脉发生破碎形成金的富集；晚期阶段在张力构造体系或脆性变形中形成石英网脉和富集矿化。

间断关系是指剪切变形作用和主成矿作用不发生在同一个地质时代，两者之间有较长的时间间隔，矿床相对于变形作用具明显的后生性。剪切带对成矿的控制主要反映在导矿和容矿作用上。根据资料认为，工作区内发现的金矿床（点）可能与韧性剪切带的形成时间上，属于间断关系。金的富集相对韧性剪切带的形成时间晚。从矿石的结构构造、矿物组合等特征分析，金的富集成矿，大约在中生代。

4.1.2 赋矿岩石

韧性剪切带型金矿可以产于几乎所有的岩石中，但不同岩性的产出机率不同。太古宙地盾中的金矿绝大多数产于绿岩带内，赋矿岩石主要是拉斑玄武质火山岩，其次为中性至酸性侵入岩、酸性火山岩、超镁铁质岩和含铁硅质岩。如安大略湖区绿岩带中的金矿 95％以上都出现在科马提岩—拉斑玄武岩层中。B.N.Eisenlohr(1989)等强调赋矿岩石具有高 Fe/(Fe+Mg)比值,其抗张强度相对较低。元古宙金矿主要与陆内盆地环境有关，非造山期岩浆作用与金矿作用密切相关。显生宙金矿主要赋存于浊积岩内。容矿岩石普

遍经受了浅—中等变质作用，大多数为绿片岩相，少数可达角闪岩相。而许多与金矿化有关的韧性剪切带都发生了退变质作用。韧性剪切带内岩石变质作用的总趋势是产生易变形的矿物以抵消构造应力的影响。

4.1.3 金的富集

韧性剪切带内金的矿化富集是一个力学——化学耦合作用的过程。韧性剪切带不仅是含金流体运移的通道，而且也是金的沉淀场所。由地幔和下地壳的排气作用或变质脱水作用形成富含 CO_2 和 H_2O 的含金流体,在构造剪应力的作用下进入剪切带。由于流体在韧性剪切带内的流动通道是不均匀的，且流动方向是平行岩石的边界和构造，剪切带内不同部位岩石的变形变质作用程度是不一样的，水岩相互作用的方式和特点也是不相同的。这些都是控制金在剪切带中沉淀富集的机理。

4.2 矿区韧性剪切带的重新认识

研究区内韧性剪切带非常发育，无论在不同地段采坑、探矿坑道内，还是在地表露头上，均可见到不同类型的动力变质岩广泛出露。根据韧性剪切带发育深度以及对金矿的控制作用，本区韧性剪切带可分为二期：第一期为近东西向中深层次的韧性变形带；第二期为晋宁期北东向中浅层次的韧性变形带。

第一期为近东西向中深层次的韧性变形带,总体呈近东西—北东东向弧型展布,发育于新太古宙变质表壳岩、ＴＴＧ系列花岗质岩石中,以发育特征性构造片麻岩、变晶糜棱岩等构造岩为主,被早元古代花岗质岩石侵入破坏。从沂水城东和浮来山西等地观察,区内中深层次韧性变形带不具规模,目前还未发现大的金矿化点。

第二期为北东向中浅层次的韧性变形带,广泛分布在前寒武纪变质岩分布区,由一系列变形强带及夹于其间的变形弱带构成,总体呈北东向展布,叠加在早期片麻理及中深层次韧性变形带之上并切割和改造早期东西向中深层次韧性变形带,然后被土门群地层不整合覆盖。韧性变形带具左旋走滑的特点。北东向中浅层次韧性变形带内的构造岩主要为各种类型的糜棱岩,在变形带内以绿片岩和花岗质糜棱岩最常见,具绿片岩相变形环境。目前发现的金矿带大都赋存在此带中。野外勘查以及大量的室内资料表明北东向中浅层次的韧性变形带是龙泉站金矿重要的控矿构造。对金矿的形成具有重要的作用。

4.2.1 北东向中浅层次韧性剪切带

北东向中浅层次的韧性变形带在本区内广泛分布具有区域性特征，在本文内我们姑且叫它为区域韧性剪切带。

4.2.1.1 区域韧性剪切带

前人认为沂沭断裂带中段金矿床存在着多条剪切带，它们之间是相互分离的，各自控制着不同的矿带。笔者认为整个龙泉站金矿床区为一个大的韧性剪切带，也就是北东向中浅层次韧性变形带,其范围比现在的矿区要大得多，南面到齐家店子乡，北面到丰台湖都可以找到这条大的韧性剪切带，且两端均未封闭。大的剪切带中包含有许多呈刚性的弱变形区域，与片理化的强变形域相间，形成了现在的地质面貌。这条韧性剪切带紧贴沂水——汤头断裂的主裂面，走向近乎与沂水——汤头断裂带平行，在沂沭断裂带内大面积出露，宽度较大，延伸较远，分布于汞丹山凸起区西部。通过野外地质调查资料和室内显微构造研究和岩组分析结果，均说明该韧性剪切带的存在。

本韧性剪切带南到齐家店子乡,北到丰台湖宽度大于 **1.5km**,从 **NE** 向 **SW** 纵贯研究区，长度大于 **12km**。无论沿走向或顺倾向，均呈舒缓波状，倾角变化于 **45**°—**55**° 之间。韧性剪切带中强变形带和弱变形域呈镶嵌形式，其长度和宽度各不相同。在局部地区弱变形域的宽度大于强变形带的宽度，这就是前人认为是多条韧性剪切带的依据。但笔者认为，从整体来看，它们处于同一构造应力场中，呈镶嵌交错分布。

北东向中浅层次韧性变形带普遍发育在前晋宁期变质岩系中,其主韧性变形带被震旦纪土门群不整合覆盖,表明韧性变形发生于前晋宁期。根据以往该韧性变形带内构造岩的同位素年代学资料表明(表 **4-1**),其韧性变形带内构造岩的 **40Ar/39Ar** 同位素年龄为 **941Ma**,属新元古代晋宁期,这与野外地质事实相符。

表 **4-1** 沂沭断裂带基底韧性剪切带构造岩 $^{40}Ar^{39}Ar$ 年龄数据

Table 4-1 ^{40}Ar-^{39}Ar isotopic ages of tectonic rocks in ductile shear zones of the Yi-Shu fault belt

加热温	实测值			$^{39}Ark/10^{-1}$	($^{39}Ar^{*}/^{39}Ark$)	^{39}Ark/%	视年龄/Ma
度/℃	$^{40}Ar/^{39}Ar$	$^{36}Ar/^{39}Ar$	$^{37}Ar/^{39}Ar$	^{2}mol	±1σ		
450	482.353	1.324	1.026	0.050	93.24±6.07	9.51	1942.9±77.5
700	106.757	0.257	1.415	0.104	31.38±2.51	19.77	905.0±57.5
800	75.366	0.146	1.702	0.058	32.49±1.06	11.00	930.0±24.7

900	268.671	0.809	3.323	0.015	30.81±2.28	2.85	892.1±52.1
1000	85.185	0.182	2.585	0.189	32.06±1.42	35.93	920.4±32.7
1150	260.0	0.771	2.991	0.049	33.42±2.07	9.32	950.6±45.8
1300	151.936	0.403	1.126	0.044	33.45±0.58	8.37	951.4±12.9
1450	75.0	0.167	2.908	0.017	26.25±1.12	3.25	784.9±30.2

坪年龄:(941±7.2)Ma

晋宁期形成的北东向中浅层次韧性变形带,以左行走滑运动为主,它对沂沭断裂带的形成和演化起制约作用。众所周知,晋宁期为华北陆块与华南陆块俯冲碰撞最重要的地质时期,在近南北向应力的持续挤压作用下,碰撞带内部形成近东西向的韧性变形带(如苏北—胶南区域韧性变形带),而在碰撞带以外的华北板块内部,存在挤压不均匀的北东向扭动作用,形成北东向韧性变形带,研究区内北东向韧性变形带的形成应为这一时期的产物（见图 4-1）。该期韧性变形带的发育为后期沂沭断裂的活动提供了良好的构造背景,同时为金矿的形成提供了扩容空间,在牛家小河—快堡韧性变形带内赋存有多个金矿体就是佐证。

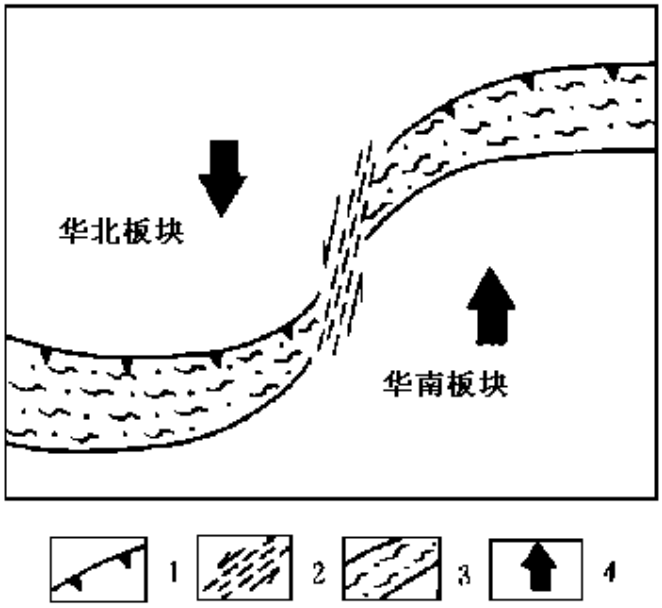


图 4-1 沂沭断裂带基底剪切带晋宁期形成机制简图

Fig.4-1 Suggested tectonic model for the Yihe-Shuhe fault formation

1-碰撞俯冲边界； 2-碰撞走滑边界； 3-大别—胶南造山带； 4-区域构造应力场

韧性剪切带在形成演化过程由压扭剪切到引张开放系统阶段,元素组合也伴随着变化。这种在动态构造地球化学作用下造岩元素的聚集或离散,并影响到金元素的富集。博

伊尔早就指出,剪切作用会使晶格发生变形并使扩散作用增强,强烈的扭曲使矿物破碎,从而促进化学反应。韧性剪切带是热液流体的通道,并制约着各种元素的活动性和迁移能力。一般认为:剪切带中的片理和早期石英透镜体基本上是由于发生强烈的剪切作用而同时形成的,而剪切作用引起和促进了其内金矿床的化学反应(围岩蚀变),因此,金矿化在剪切带中存在明显的围岩蚀变分带性是不难理解的。

4.2.1.2 中生代动力学背景

中生代初期,库拉板块向ＮＮＷ方向俯冲消亡,中国东部地壳发生分异,西部坳陷,东部隆起,隆起区地壳受引张力作用,沿着已有断裂和新生断裂活化。由于库拉板块是热板块,俯冲至下地壳深处,引起上地幔和下地壳物质局部熔融,熔体沿着断裂带上涌,产生多序次岩浆喷发和侵入,岩浆岩有中性、中酸性等。沂沭断裂带处于隆起带上,这个时期已发育成裂谷式构造,有大量喷发岩和侵入岩,裂谷内充填了大量火山沉积碎屑岩建造。沂沭断裂带在中生代经历多次张、压交替构造岩浆活动(计风桔、方仲景、李如成,**1987**),岩浆活动不仅发育在裂谷内,还波及到两侧的断裂带和盆地。早白垩世断裂带及其两侧次级序断裂构造表现为张性活动特征及区域右行走滑的构造背景,岩浆大多充填在这些断裂中,基底上隆明显。基底韧性剪切带处在减压冷却环境(在隆升过程)中,发生剪切带从韧性到脆性,进变质到退变质的转化。在韧-脆性转变过程中,扩容作用产生的微裂隙系统,不仅为含矿流体运移富集创造适宜的物理化学环境,还提供金元素成矿空间。所以,构造变形带中的韧-脆性过渡带在活化-迁移-成矿的“三阶段模式”中起到关键的作用。它们提供了应力释放、岩浆、热液活动的场所，其结果不仅产生了大量的糜棱岩系列的岩石，而且造成复杂多样的塑性褶曲。密集的劈理、普遍的退化变质及频繁的热液事件。进而在漫长的地质历史中，形成一系列金矿体（图 **4-2**）。

区域剪切带经历了多期(次)活动，力学性质以左行、右行、压扭、张扭等多种形式表现出来。但以左行活动为主，同时也经历了韧性到脆韧性的发展、演化阶段。在脆韧性发展阶段，控制了金矿床矿带的分布，同时进行了金的进一步次富集。

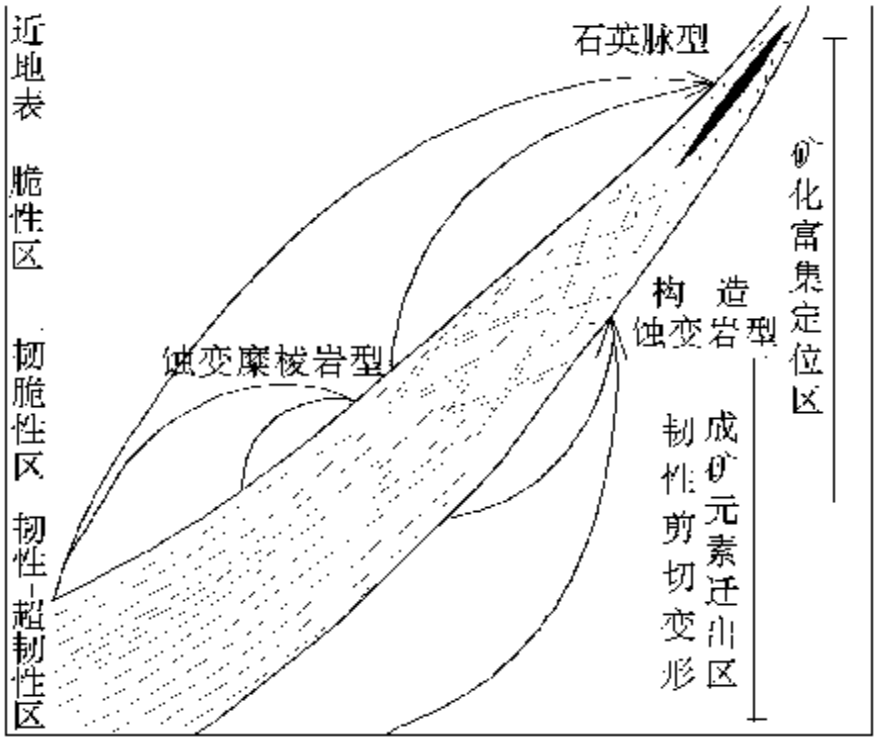


图 **4-2** 剪切带变形域与金矿化类型关系图

Fig 4-2 Diagram showing relationship between gold mineralization types and shear zone deformation

4.2.2 韧脆性控矿剪切带

由上所知，区域韧性剪切带经历了多期(次)活动。在区域韧性剪切带内发育了几条控矿韧脆性剪切带。区内韧脆性剪切带主要特征可概括为以下几点：①**S-C** 面理发育（图版 **I-17**、**I-30**）；②硅化、碳酸盐化、黄铁矿化、绿泥石化、绢云母化等蚀变非常强烈（图版 **I-2**、**I-3**、**I-4**、**I-6**、**I-7**、**I-8**）；③钠长石——石英脉、多期(次)石英脉及碳酸盐脉垂直片理或与 **S-C** 面理呈大角度相交（图版 **I-12**、**I-13**），与片理近于平行以及沿共轭节理充填；④其中的钠长石具亚颗粒构造；⑤石英发育镶嵌消光或亚颗粒，常见波状消光、扇状消光、变形条带、变形纹等粒内变形特征(图版 **I-10**、**I-17**、**I-19**、**I-22**、**I-28**、**I-29**)；⑥石英亚颗粒，细粒重结晶石英仅在高应变区集中分布（图板 **I-25**、**I-21**），⑦方解石应力双晶非常发育；⑧结合石英、方解石粒内变形特征及岩组图型式等综合分析，控矿剪切带，即区域韧性剪切带演化成韧脆性控矿剪切带时的形成温度在 **200** ℃-**500**℃之间，以左行剪切为主，古应力值变化不大。

研究区内有多条控矿剪切带出露较好，但对金矿控制作用较为明显的控矿剪切带主

要有三条。从西向东，它们分别是牛家小河—宅科—丰台湖，宅科—英灵山西，英灵山东控矿韧性剪切带。

4.2.2.1 牛家小河—宅科—丰台湖韧性剪切带

牛家小河—宅科—丰台湖韧性剪切带：南部位于牛家小河村西，经龙泉站、宅科村一直延伸到丰台湖村东，呈 **15**°—**20**°方向展布，延伸长度约 **8km**，宽 **100-350m.**糜棱面理发育，产状 **285-300**°∠**45**°—**55**°，韧性剪切带的延伸及展布明显受沂水——汤头断裂控制，受其长期复杂活动的影响，表现出左行、右行、压扭、张扭等多种形式。岩石糜棱岩化强烈，矿物定向排列明显，长石残斑呈眼球状，石英拉长现象明显，石英细脉之间呈渐变关系（图 **4-3**）。岩石中发育绿泥石化、绢云母化、绿帘石化、硅化、黄铁矿化，该剪切带对金矿体具有明显的控制作用，牛家小河、龙泉站等地的多个金矿体赋存于该韧性剪切带内。该剪切带向南向北均延伸出工作区**(**图 **4-4)**。

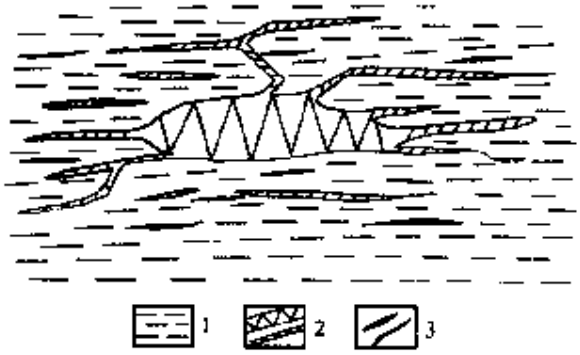


图 **4-3** 矿化糜棱岩中石英脉、石英细脉及石英大脉之间的关系

Fig 4-3 Sketch showing relationship between quartz bands, fine veinlets and quartz veins.

1- 矿化糜棱岩；**2-** 石英脉； **3-**石英条带

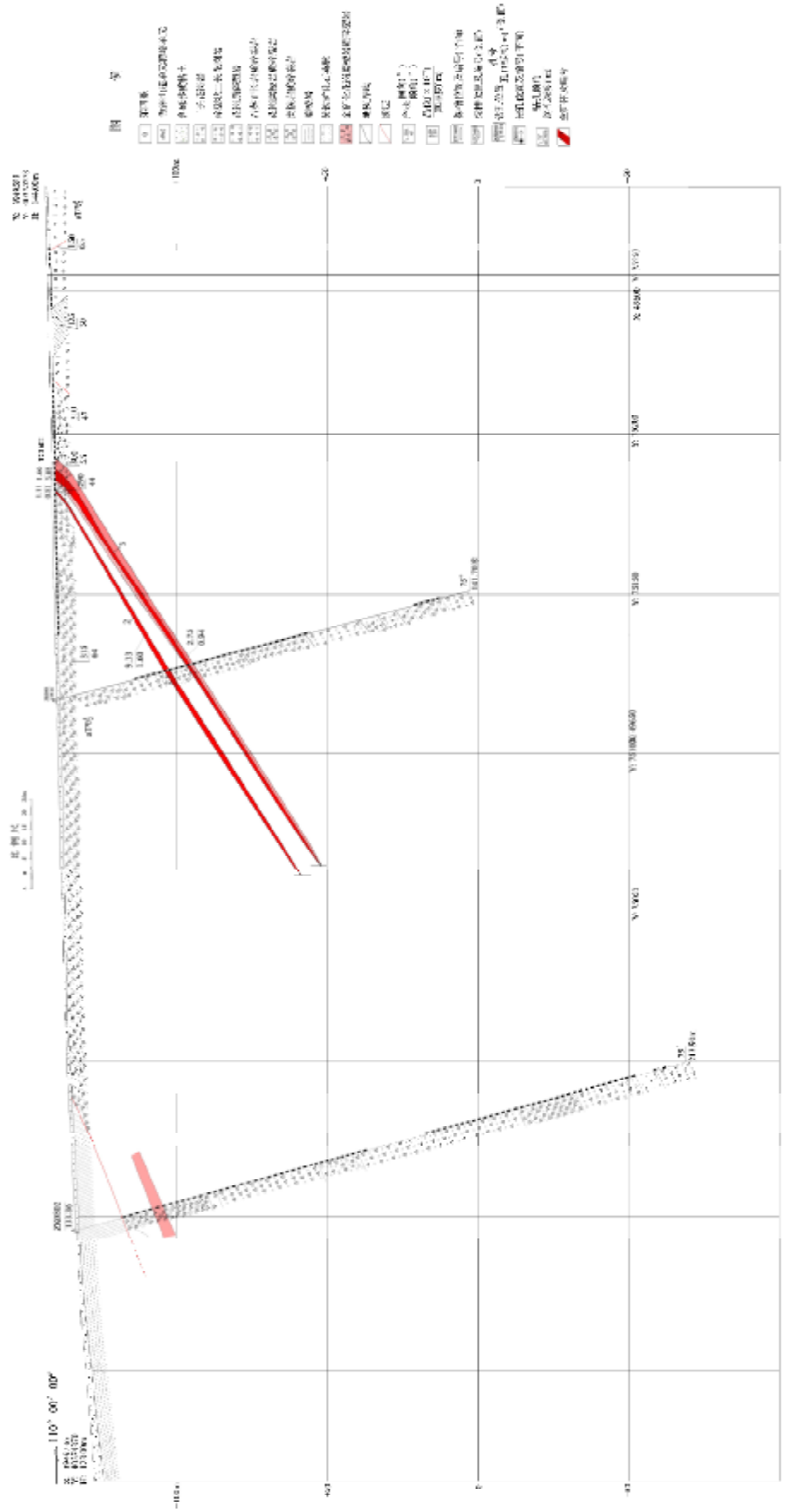


图 4－4 龙泉站矿区 08 勘探线剖面图

Fig 4－4 08 prospecting section in longquanzhan

4.2.2.2 宅科——英灵山西韧性剪切带

宅科——英灵山西韧性剪切带：该韧性剪切带位于宅科村北至英灵山西，呈 **30**°方向展布，宽 **30—50** 米不等，长 **700** 米左右。韧性变形主体岩石为条花裕单元片麻状中细粒黑云二长花岗岩，带内岩石糜棱岩化作用强烈，岩石呈灰黄色，绿灰色。矿物定向拉伸明显**(**图板 **I-20** 、**I-17**、**I-13)**，面理发育，糜棱面理产状 **120**°∠**45**°—**55**°。岩石具硅化、绿泥石化、高岭土化、黄铁矿化等。**9** 号矿体赋存于该剪切带内。

4.2.2.3 英灵山东韧性剪切带

英灵山东韧性剪切带：该韧性剪切带位于英灵山东面，呈 **35**°—**40**°方向延伸，延伸长度约 **1.4km**，宽度 **15—50m**。韧性变形岩石为中细粒黑云二长花岗岩，岩石糜棱岩化强烈，呈黄褐色、灰绿色、灰白色。糜棱面理发育，其面理产状 **120**°—**135**°∠**45**°—**50**°。该韧性剪切带西侧边缘发育一条同方向的脆性构造，断裂带内小型揉皱较发育、岩石破碎，局部有后期闪长玢岩脉充填穿插。岩石具强烈的绿泥石化、绿帘石化、褐铁矿化、绢云母化等蚀变现象，岩石受断裂多期活动的影响，发育压力影构造，探槽取样分析含金量最高 0.24×10^{-6}，具有较好的找矿前景。

上述控矿韧性剪切带内岩石组合类似，其主要组成岩石为糜棱岩或碎裂状糜棱岩，岩石颜色为灰黑—灰绿色，碎斑含量在 **20%-40%**，基质 **60%-80%**，碎斑一般呈眼球状，大小不一，在 **0.2-1mm**，矿物成分以长石为主，次为石英；基质主要由颗粒细小的显微鳞片状的绢云母、绿泥石、绿帘石及部分残余长石、石英碎粒矿物组成；金属矿物以黄铁矿、黄铜矿为主，其中黄铁矿多呈带状赋存在糜棱面理中，含量 **1-3%**、最高达 **5%**；黄铜矿呈团块状、浸染状分布，含量一般**<1%**。矿物颗粒一般在 **0.1mm** 以下，条带状、条纹状构造发育。控矿剪切带内沂水岩群和泰山岩群透镜体蚀变强烈，黄铁矿化、绢云母化、硅化、绿泥石化、绿帘石化和方解石化，上述蚀变有三个重要特征：①部分蚀变矿物以单矿物或复矿物细脉充填于老的岩层之中，如绢云母细脉、黄铁矿细脉、石英细脉、方解石细脉、碳酸盐—石英细脉及石英—钠长石细脉等等；②新生矿物均具定向排列，如绢云母、绿泥石等；③脉体中的矿物具波状消光、应力双晶、变形条带、变形纹、亚颗粒等粒内塑性变形特征。上述事实说明，蚀变与韧脆性剪切活动密切相关。

4.3 矿区韧性剪切带控矿特征

通过上述对龙泉站金矿床的综合研究表明，龙泉站金矿床是一个严格受剪切带控制的金矿床，其一级构造和二级构造比较明显，即区域性韧性剪切带和矿区韧-脆性控矿剪

切带。金矿床的展布明显受一级构造(区域性韧性剪切带)控制，而具体的富矿部位则受二级构造(矿区韧脆性控矿剪切带)控制。这与剪切带型金矿的特征相一致。

笔者在龙泉站金矿调研期间，发现沿沂水——汤头断裂带下盘分布的韧性剪切带从南到北各岩性层均有不同程度的矿化，而且局部地段金品位非常高，只是有些没有达到工业开采的规模。经过仔细的研究分析后，发现这些未构成工业矿体的地段大都只有区域韧性剪切带通过，而很难找到次级的韧脆性剪切带。

笔者认为:一级构造(区域性韧性剪切带)只是一个大的控矿和导矿构造,它使部分金从矿源层分溢出来，产生第一阶段金的富集。这也是韧性剪切带控矿的第一阶段。在这个阶段中所形成的金矿只能是与韧性剪切带同生的金矿，其金的品位一般不会太高，金矿床的规模也不会太大。二级构造(矿区韧-脆性剪切带)集控矿、导矿、容矿于一身，含金热液沿区域性韧性剪切带贯入次级的韧脆性剪切带中，同时也使部分金从矿源层中分溢出来，进行金第二阶段的富集。这也是韧性剪切带控矿的第二阶段。经过该阶段后，金的品位进一步提高，规模扩大，形成工业矿体。区域性韧性剪切带通过整个矿区，致使各个岩性层中均有矿化现象，提高了金的地球化学背景，次级韧-脆性剪切带的发展和演化，使金进一步富集成为工业矿体。

后期的脆性剪切构造对矿体进行了改造和破坏并对金的富集有一定影响，在有后期构造叠加的部位，金品位往往较高。在韧性剪切带型金矿中，后期脆性构造往往会促使金的重新富集。脆性构造被含金溶液所充填，同时带来了从矿源层分溢出来的金，它们在一定的温压条件下沉积、富集起来。笔者认为，这是金第三阶段的富集，也可以作为韧性剪切带控矿的第三阶段。

总之,龙泉站金矿的形成与韧性剪切作用关系密切。具体表现在:金矿体产于韧性剪切带的强变形带中,强糜棱岩带即为金矿体;成矿元素分析反映出强糜棱岩带中金元素发生明显富集。韧性剪切带运动的形式和性质控制了金矿体的展布,走滑式韧性剪切带控制了金矿体具左行右接的排列特点,而金矿体的排列特征也指示了剪切带的走滑运动方向。在变质变形作用过程中,含金较高的泰山岩群变质岩(原岩基性火山岩)中的金开始活化、迁移,产生金的预富集。韧性剪切作用改变了金的赋存状态,岩石矿物成分发生变化,被禁锢在矿物中金的被活化出来,成为易释放金进入成矿流体中。由于超糜棱岩中面理构造极为发育,岩石透入性好,加速流体循环,有利于深部含矿热液的流动与富集,同时剪切热加热了循环地下水,产生混合流体,含矿热液充填就位于叶理构造中,在适当的温压条件下,富集沉淀成矿,形成了韧性剪切带型金矿。

综上所述，龙泉站金矿床韧性剪切带控矿特征可归纳为以下几个方面：

1.区域性韧性剪切带控制着金矿床的展布，同时产生了金第一阶段的富集。

2.矿区韧-脆性控矿剪切带控制着矿体的分布和规模，由于含金热液的活动形成了金第二阶段的富集。

3.后期的脆性剪切构造对矿体进行了改造和破坏，同时由它引起的各种含金流体的贯入形成了金第三阶段的富集。

4.在韧性剪切带型金矿床中，金富集于强应变部位或由韧性向脆性转换的部位。

5 多元数据分析及成矿预测

本次作为找矿项目研究，在矿区采用了物探、化探和遥感等找矿方法，这些方法是根据龙泉站矿区地形、地质及矿床特征选取的。通过这些方法的实施，为在龙泉站矿区寻找隐伏矿体和矿区外围找矿提供地质依据(图 5-1)。

5.1 多元数据采集与分析

5.1.1 物探

因矿体中携金的矿物主要是低电阻的金属硫化物黄铁矿、黄铜矿、褐铁矿等，与不含矿体的围岩具有明显的电性差异。所以本次物探选用了以 EH-4 连续电导率剖面仪探测为主，高密度电阻率法探测为辅，目的是通过获取研究区内的地层和构造带的电性特征，从而实现对金矿体的探测。

5.1.1.1 野外施工原则：

该矿区已知含矿糜棱岩呈北东东走向，倾向北西西，考虑到隐伏矿体属同一控矿构造系统控制，本次物探（磁法和电法）剖面均垂直矿带走向,即沿北西西向布置，并尽可能通过化探异常点和已知含矿糜棱岩带。为了查明矿带南北的磁异常差异及分布特征，本次在牛家小河至宅科选取了一系列横穿矿区的长剖面作为磁测剖面，剖面路线与该地段电法剖面、野外勘探剖面重合。

矿区糜棱岩带大多呈平行条带状产出，每条糜棱岩带的宽度可从露头尺度变化到 100m 左右。为了不漏测糜棱岩带，本次磁测剖面的点距采用 20m，电剖面的电极距 10m。各剖面间的距离视糜棱岩带出露情况、野外勘探剖面的分布及地形特点灵活布置。

5.1.1.2 高密度电阻率法

高密度电阻率的基本原理与传统的电阻率法完全一致，是电剖面法和电测深法的组合，因此他仍然是以岩土体的导电性差异为基础的一类电探方法，研究在施加电场的情况下，地中传导电流的空间分布规律。据此分析矿体的分布规律。

高密度电阻率曲线可准确地划定沂水——汤头断裂的准确位置，而东部含矿构造也能够较准确地划定，由于本次高密度电阻率法最深控制 120 米，因此该法仅能控制浅部

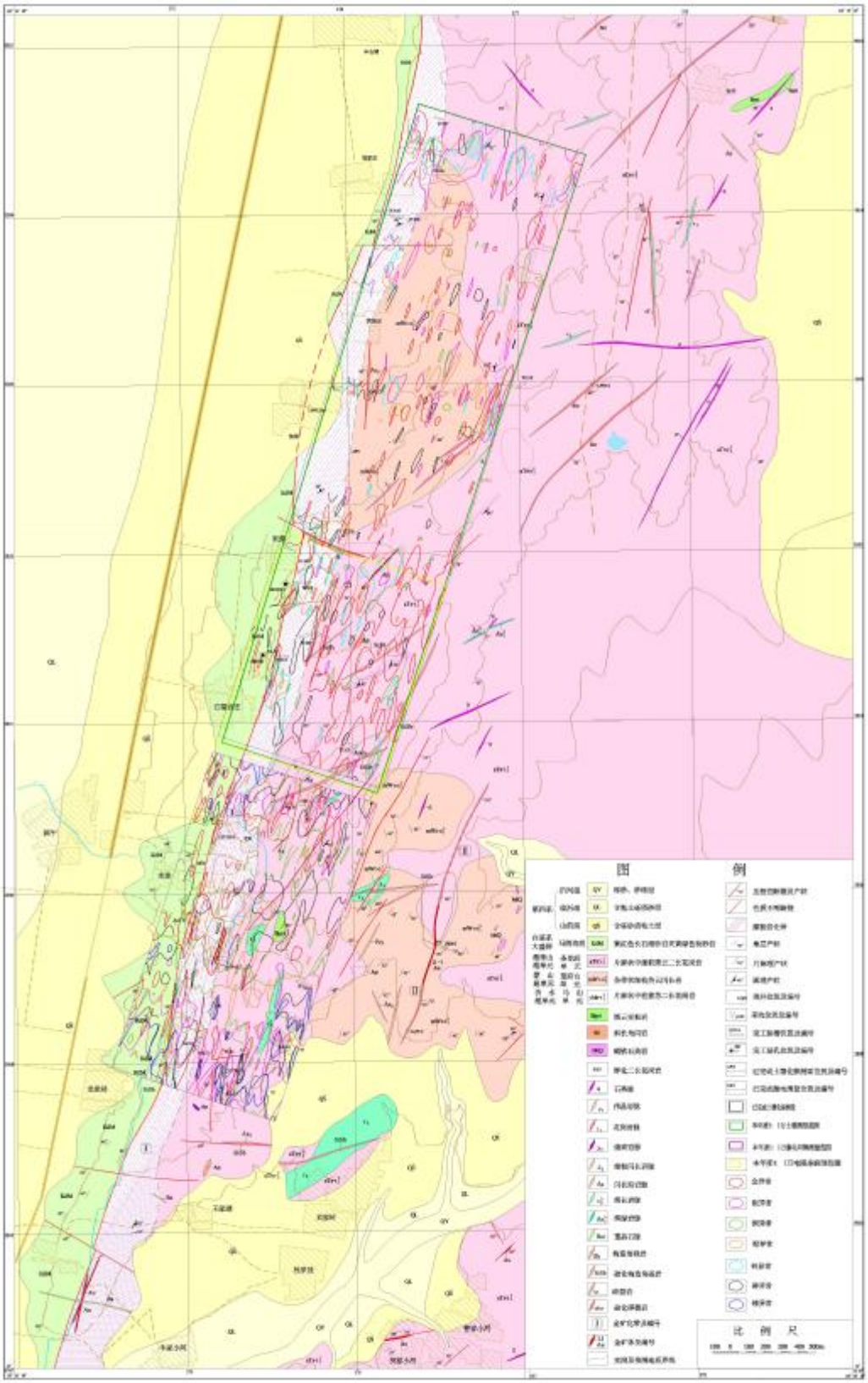


图 **5-1** 龙泉站矿区地质与化探叠加图

Fig 5-1 The superposition of geology and chemical exploration in the longquanzhan

矿体，对深部成矿预测意义不大。

5.1.1.3 EH-4 连续电导率剖面仪法（电磁法）

该方法采用大地电磁测深原理，但采用独特的正交磁偶极可控源，结合地震仪技术，系统可自动、多频率采集数据，勘探深度为几米～1000m，对深部矿体有理想的控制。 这样深浅两种物探方法结合达到了更好的控制矿体以及对深部和外围成矿预测的目的。

5.1.1.4 影响电阻率因素

（1）岩、矿石的电阻率

矿物的电阻率是在一定范围内变化的，即同种矿物可能有不同的电阻率值，不同种矿物也可能有相同的电阻率值。换言之，岩石和矿物的电阻率值通常也非为某一特定值。如对几种岩石而言（表 5-1）。其电阻率值便在一定范围内变化。

表 5-1 常见沉积岩、岩浆岩电阻率（ρ）

Table 5-1 the Resistivity of Deposit rock and Magmatite（ρ）

岩石名称	ρ Ω.M	岩石名称	ρ Ω.M
黏土	10^{-1}—10	花岗岩	10^{2}—10^{5}
亚黏土	10—10^{2}	正长岩	10^{2}—10^{5}
泥岩	10—10^{2}	闪长岩	10^{4}—10^{5}
粉砂岩	10—10^{2}	辉绿岩	10^{2}—10^{5}
砂岩	10—10^{3}	玄武岩	10^{2}—10^{5}
砾岩	10—10^{4}	辉长岩	10^{2}—10^{5}

由于研究区金矿类型与邻区焦家金矿相似，解释时参考了焦家金矿的物性参数（表 5-2）。

表 5-2 焦家金矿岩、矿石电阻率（ρ）

Table 5-2 the Resistivity of Rock and Ore in the Jiaojia（ρ）

岩、矿石名称	块数	ρ Ω.M	备注
黄铁绢英岩化花岗质碎裂岩	48	176-5230	含 Au 9.64×10^{-6}
黄铁绢英岩化花岗质碎裂岩	51	275-3310	含 Au<2$\times10^{-6}$
黄铁绢英岩化糜棱岩	30	41.5-209	含 Au<2$\times10^{-6}$
绢英岩化花岗质碎裂岩	74	335-8180	含 Au<2$\times10^{-6}$
绢英岩化碎裂状花岗岩	38	670-2470	矿化微弱

玲珑花岗岩	**38**	**179-8810**	无矿化
斜长角闪岩	**120**	**50-749**	矿化微弱

由上表可以看出：岩浆岩与变质岩的电阻率值较高，通常在 **100—100000** 欧姆·米范围内变化，沉积岩电阻率值一般较低，如粘土电阻率约为 **1—10** 欧姆·米；砂岩的电阻率约为 **100—1000** 欧姆·米，而灰岩电阻率则较高些。以上三种岩类电阻率的变化固然与其矿物成分有关，但在很大程度上取决于它们的孔隙度或裂隙度以及其中所含水分的多少。

（**2**）、岩层含水性

由于含水性强的岩层相对于同种岩层，表现为低电阻性，为了提高控制区域内矿体的准确度，有必要分析一下研究区内岩层的含水性影响因素。

第四系潜水：第四系主要为残坡积物，分布面积较大，含水层岩性为含砾砂质粘土层及砂质粘土层，分选性差，富水性弱，枯水季节不含水，雨季含少量水。大气降水在本层聚集并通过本层大部分下渗到基岩风化带中，其水位变化受季节的影响一般水位埋深 **2—5** 米，年水位变化 **1—2** 米。

基岩风化裂隙水：赋存于基岩风化带中，岩性为片麻状中细粒二长花岗岩及条带状中细粒英云闪长岩，风化带深度 **2—2.5** 米，裂隙发育，水位埋藏随地形而异，一般为 **3—10** 米，补给来源主要为大气降水及上部第四系空隙潜水，年变幅 **1—2** 米。

构造破碎带承压水含水层：包括沂水——汤头断裂带及其两侧的次级断裂两种含水层，其中以沂水——汤头断裂为主，区内大多数大口井及池塘皆挖在沂水——汤头断裂带上，该断裂以挤压破碎为主，裂隙发育呈微形及闭合状，透水性富水性较好，局部地段为承压含水带。其补给来源包括大气降水，第四系空隙潜水，基岩风化裂隙水等多种来源。

隔水层：区内出露的大盛群泥岩、粉细砂岩，及辉长岩脉，辉绿岩脉，闪长玢岩、煌斑岩等，岩石完整，结构致密，富水性、透水性极差，可视为隔水层。

研究区内年降雨量少，地势较高，汇水面积不大，地表径流条件较好，地下水对利用电阻率分析矿化程度影响不大。但主断裂带局部地段含水层的富水性较好，对剖面分析时有一定的影响。

5.1.1.5 EH-4 连续导电率剖面测量资料解释

本区所作剖面全部切过沂水——汤头断裂。沂水——汤头断裂上盘的主要岩性是大盛群马郎沟组红色砂岩，下盘主要是花岗质碎裂岩、糜棱岩化碎裂岩。糜棱岩带的产状

与沂水——汤头断裂基本平行。

剖面的电性特征：根据同类岩石，携金的矿体表现低电阻；非矿化体表现高电阻性。所以在电剖面图中低电阻区显示为强矿化区，高电阻区视为矿化乃至无矿化区。现以 **L1** 线、**L3** 线为例分析如下：

（**1**）剖面 **L1** 线

本剖面位于龙泉站村东，穿过沂水——汤头断裂，与野外勘探线 36 线基本重合（见图 **5-2**）。本剖面的岩性，在沂水——汤头断裂的上盘主要是大盛群马郎沟组红色砂岩，下盘主要是花岗质碎裂岩、糜棱岩化碎裂岩。根据岩土体本身的导电性，上盘砂岩电阻率明显比下盘黄铁矿化糜棱岩质碎裂岩低，图中岩石电性显示也与其相吻合。

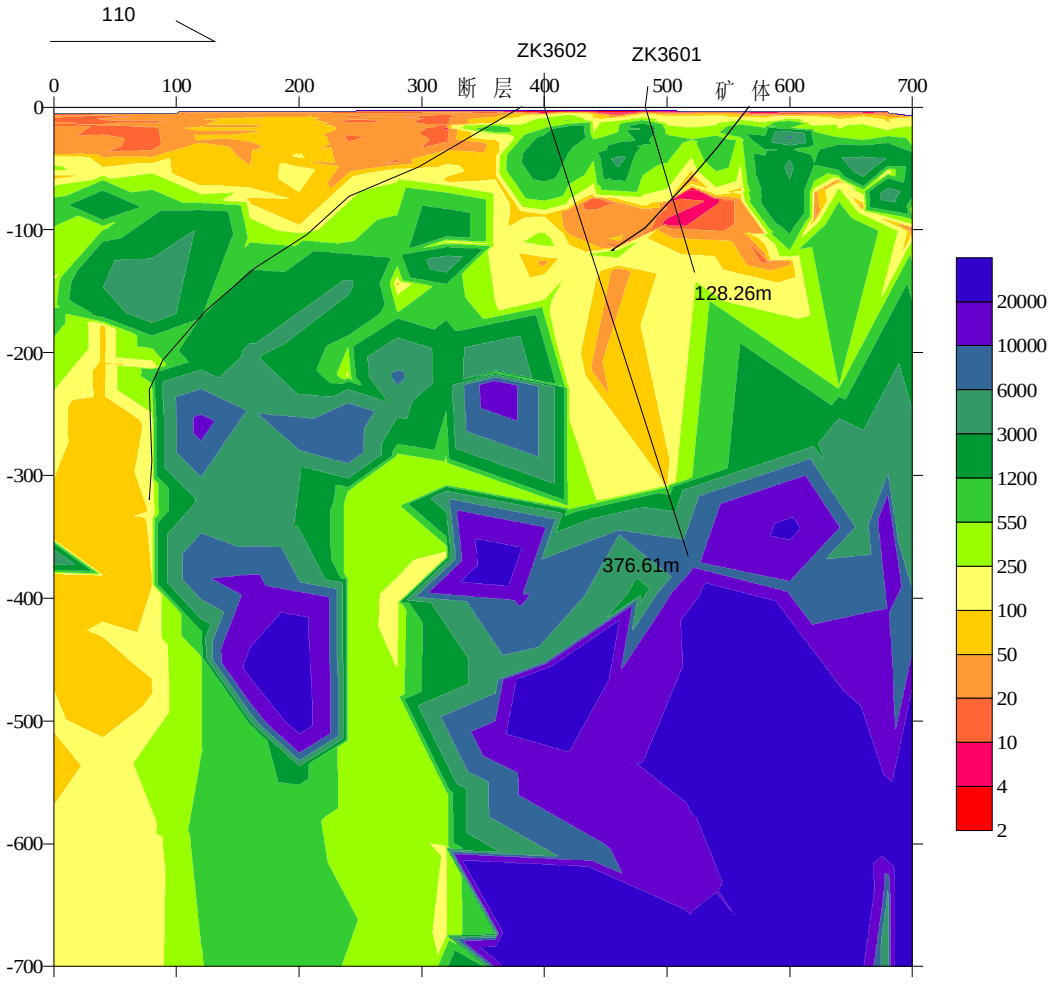


图 5-2（36 勘查线）L1 线 XY 方向电阻率反演成果图

Fig 5-4 (36 reconnoitring line) the fruit picture of L1 line XY direction show resistivity

由图看出沂水——汤头断层在电阻率剖面上形成一近直立的相对低阻异常条带，而

断层两盘岩层的电阻率则明显高于断层带的电阻率，这一特征与沂水——汤头断层的实际产状（浅部倾向缓到深部变陡）相吻合。也与 36 线（图 5-3）测得结果基本吻合。右下角高电阻区，由 zk3602 钻孔 376.61 米深处岩心分析为二长花岗岩，得出此高电阻区主要为太古代及早元古代花岗岩，是具有多期次侵入的岩体。

断层的上盘：由地表向下 0—100 米电阻率较低，根据野外调查，该部位地势较低，位于地堑内，基本没有矿化，低电阻率，是岩层含水造成的。在深度 160 米以下又出现一低电阻率区，对于此低电阻区目前有两种认识，其一，区内大多数大口井及池塘皆挖在沂水—汤头断裂带上，该断裂以挤压破碎为主，裂隙发育呈微形及闭合状，透水性富水性较好，局部地段为承压含水带。估计此低电阻区为承压含水带。这种可能性很大，因为到目前为止，野外踏勘及其它地质手段均未发现沂水——汤头断裂上盘含矿。另一种认识是，由于在中生代受库拉板块和太平洋板块运动的作用，沂沭断裂带受到巨大的影响，地幔上涌，地壳减薄，导致地幔、下地壳升温，物质融熔，深熔岩浆沿沂沭断裂带上升，为成矿带来金质和热源，同时沂沭断裂带内基底韧性剪切带上升转化为韧脆性剪切带使岩浆热液及围岩的金进一步富集。而此低阻区位于沂水——汤头断裂的碎裂带内，裂隙发育，在适宜温压条件下正是富集成矿的有利地段。后者只是笔者的一种推测，若此推测成立，则在沂沭断裂带深部找到金矿有很大的潜力。

断裂下盘，位于汞丹山凸起区地势较高，勘探施工季节干旱，岩石含水性影响不大。低电阻率区主要表现为矿化程度强，高电阻区矿化程度弱。野外踏勘断裂下盘存在一大的糜棱岩带，其产状与沂水——汤头断裂基本平行，糜棱岩带破碎发育，矿化明显。图 **5-2** 中也有一条基本与沂水——汤头断裂性平行的浅绿色电阻在 **100-550** 欧姆·米之间的低阻带与其相吻合。此带应为下盘的糜棱岩带，矿化程度浅部高，向深部矿化逐渐变弱。与第四章分析的矿区韧性剪切带的控矿特征相吻合。在剪切带内 **50** 米—**350** 米是矿化的集中区，主要有两个大的矿化带。该剖面反映的电性特征与 **36** 勘探线上钻孔的钻探结果吻合。但是根据表 **5-2** 中黄铁绢英岩化花岗质碎裂岩电性显示，此低电阻带仍为矿化较好的地段，含金量较高。据此分析沂沭断裂带深部找矿前景看好。

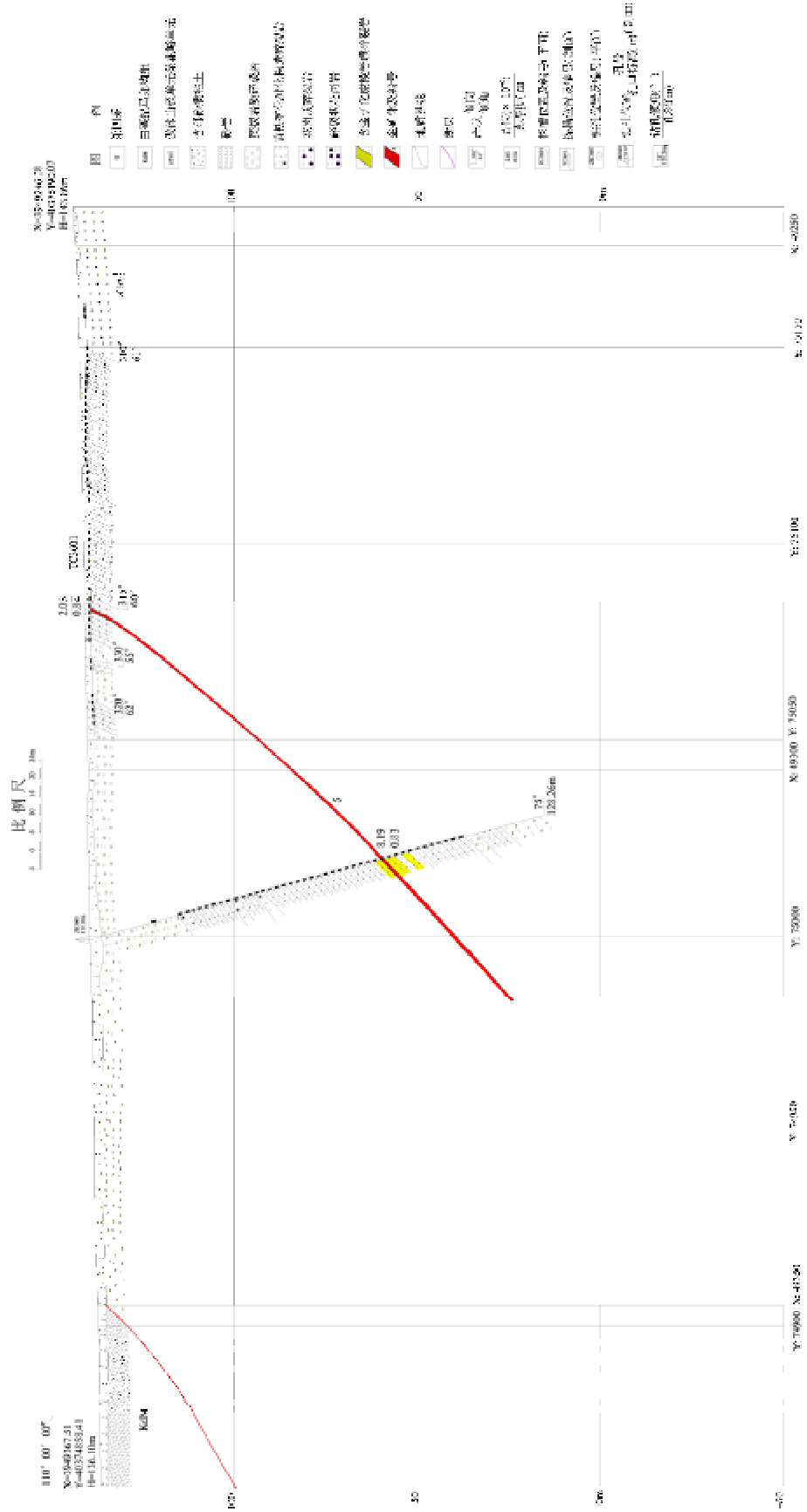


图 5－3 龙泉站矿区 36 勘探线剖面图

Fig 36 Prospecting Section in the Longquanzhan

（2）、剖面 L3 线：

本剖面位于水洼村南，地表穿过沂水——汤头断裂，与 00 线基本重合（图 5-4、5-5）。地处 L1 线的北面。断裂上盘：据野外勘察，在此剖面的南面沂水——汤头断裂的上盘有一水坑，对地表的矿化分析有一定的影响，根据钻孔 zk0002 岩芯金含量分析在沂水——汤头断裂的上盘金元素含量很低几乎为零。确定从地表 0—90 米处的低电阻区为岩层含水造成的，不是矿化的表现。但是通过此剖面看到深部有一大的低电阻区，从空间分析此低电阻区与 L1 剖面断裂上盘的深部低电阻区在一个带上。对此低电阻率区的含矿性分析，同 L1 剖面分析的意见一样，有两种认识：一是解析为承压含水层。另一种意见认为是矿化所致。

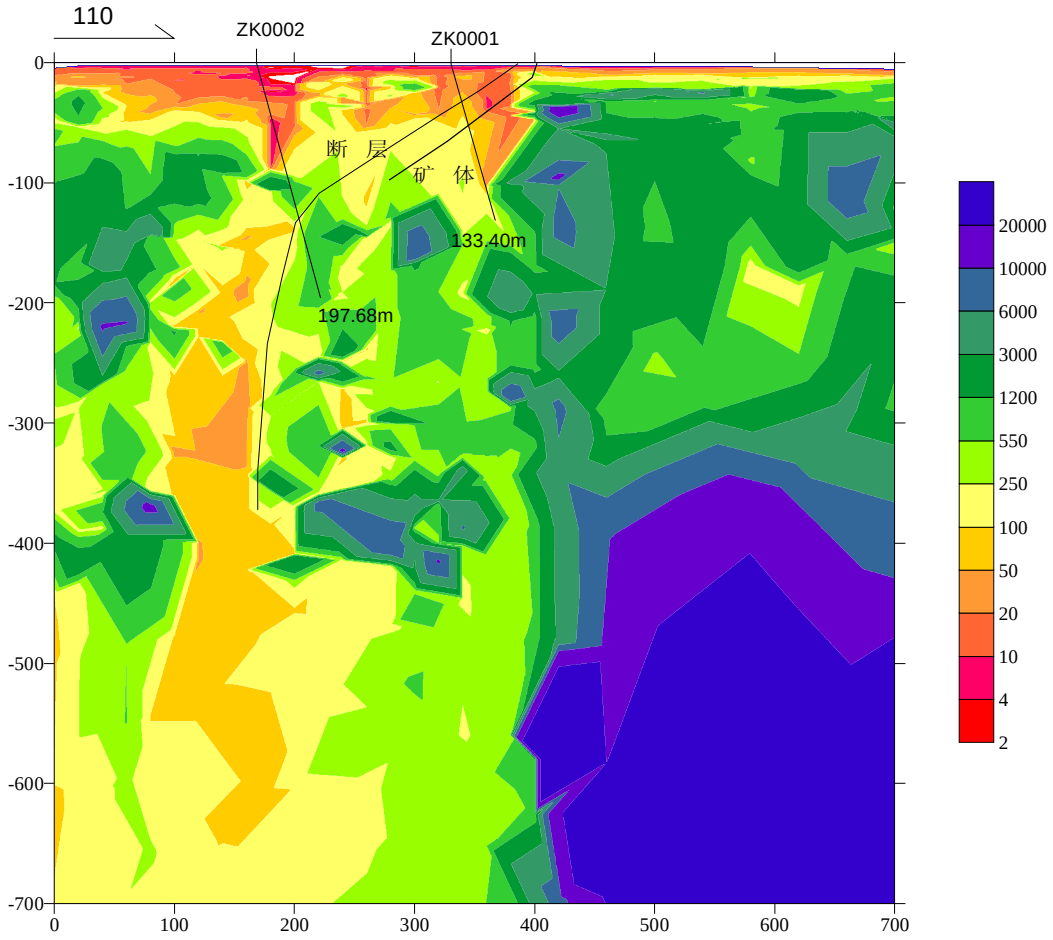


图 5-4 （00 勘探线）L3 线 XY 方向电阻率反演成果图

Fig 5-4 (00 reconnoitring line) the fruit picture of L3 line XY direction show resistivity

断裂下盘：此剖面和 L1 剖面一样，位于汞丹山凸起区地势较高，勘测季节干旱，含水性影响不大。低电阻区主要表现为矿化程度强，高电阻区矿化程度弱。断裂下盘存在

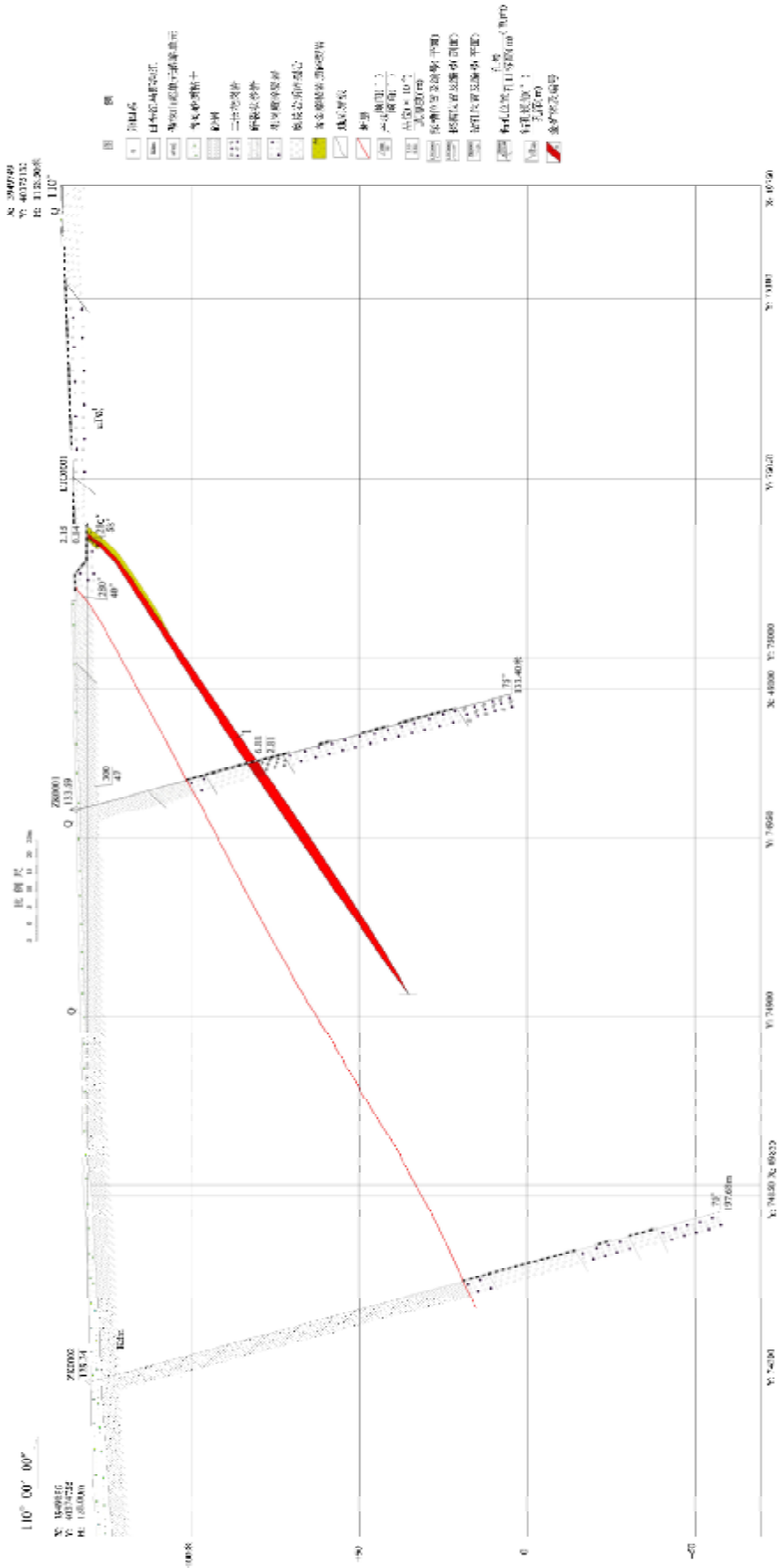


图 5-5 龙泉站矿区00勘探线剖面图

Fig 5-5 00 prospecting section in longquanzhan

一大的糜棱岩带，其产状与沂水——汤头断裂基本平行，糜棱岩带破碎发育，矿化明显。图 5-4 中也有一条浅绿色低电阻带与糜棱岩带相吻合。此带应为下盘的糜棱岩带，矿化程度浅部高向深部发展矿化变弱，基本与 L1 线相似。右下角高阻区为岩体，岩体热液上升，活化金元素，在岩体周围的沂水——汤头断裂的破碎带内进一步富集，在破碎带内形成低电阻区矿化带。剖面上一小片，一小片的高电阻区为岩浆热液沿裂隙上升时温压降低形成的岩浆体。说明韧性剪切带内形成金矿时，岩浆活动对金的富集起到了重要的推动作用。此剖面内矿化主要集中在浅部 50 米—150 米内，该剖面反映的电性特征与 00 勘探线上钻孔的钻探结果吻合。

5.1.2 电磁异常结论

本次共作磁法剖面 3 条（L2 线位于 L1 线和 L3 线中间，与上面两条剖面基本相似，不再赘述），从整个电测剖面结果看，矿区电磁背景基本相同，从剖面分析龙泉站金矿内的Ⅰ号矿化带向南向北两个方向延伸矿化程度都很好，反映沿此带向南北两个方向找矿前景较大。矿体以浅层矿为主，主要集中在 50—350 米。沂水——汤头断裂深部破碎带内低电阻区是否为矿化带，有待我们进一步证实。一旦证实矿化存在，则沂沭断裂带中段深部找矿具有前景。

5.1.3 遥感影像地质解译

在 ETM+8 个波段(美国陆地卫星 7 号 1999 年 4 月发射)的数据作为基础影像、以 TM 不同时相作为补充的假彩色合成图中，通过影像的不同色调，自西向东依次可分辨为蒙阴盆地、汞丹山凸起、苏村——马站盆地、莒县盆地、胶南隆起。

地貌形态、岩石类别、线性构造清晰可辨，沉积岩区一般为绿色、黄绿色，地形起伏较大；岩浆岩区色调较深，一般为深绿色、黑红色、地形起伏大；各个盆地为淡蓝色和粉红色，地形无起伏或起伏小。

线形构造影像明显，一般为不同色调的分界线，区内 NE、NNE 向大型线性构造是由沂沭断裂带造成，两条褐红色影像夹一黄白色影像条带，条带之间界线分明，它是由四条主干断裂、两个断陷盆地及凸起组成的。在凸起区内，一系列 NNE、NE 向及近东西向线性影像特征明显（图 5-6）。

环形影像在铜井地区清晰可辨，它们多数是由隐伏岩体及中生代侵入体所致。龙泉

站地区发育三个环、沿北北东方向展布，且他们相互交切，并被北东向断裂所切割。结合磁法勘探资料，这三个环形构造可确定为岩体。他为韧性剪切带内金的富集提供了热源，与区内金矿的形成有密切的关系。区内环形构造与电磁法剖面右下角岩体相互验证，同时也进一步增大了深部低电阻区为矿化带的可能性。

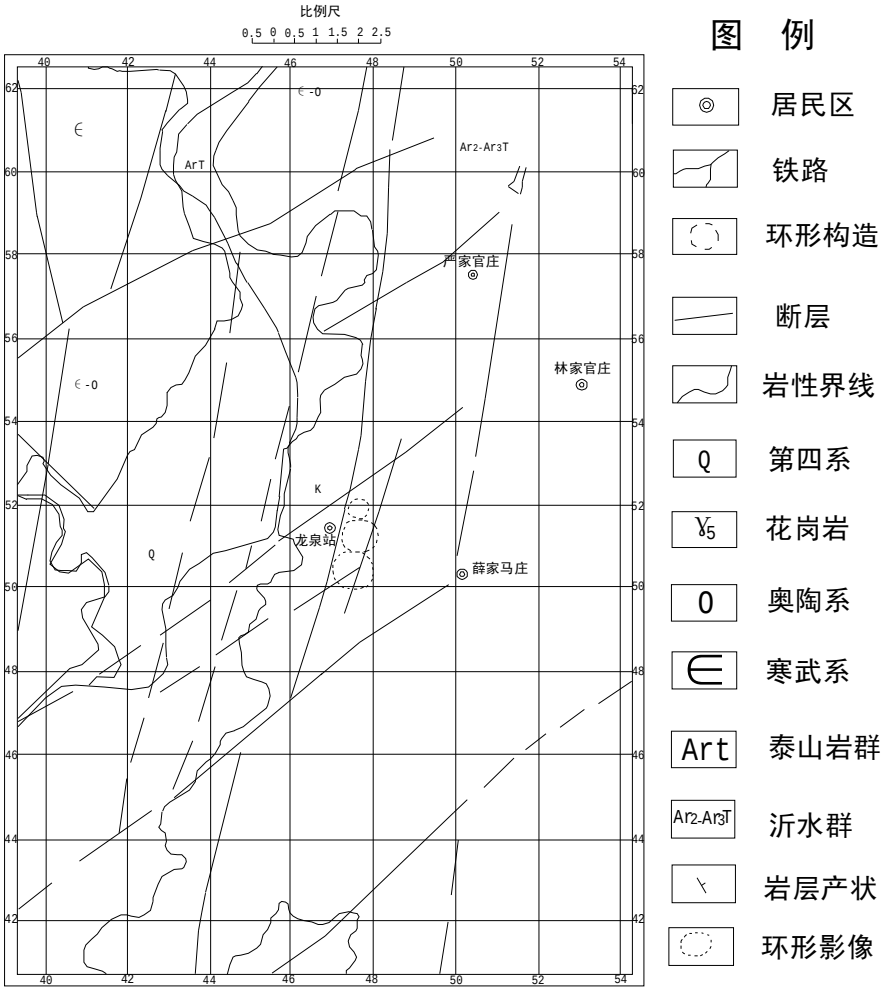


图 **5-6** 龙泉站地区遥感地质解译图

Fig 5-6 Interpretation map of remote sensing geology of longquanzhan area

5.1.4 化探

龙泉站矿区高品位矿体产在糜棱岩带内，要找矿必须先找到糜棱岩带。矿区内已发现的糜棱岩带有数条，这些糜棱岩带是否含矿，要通过化学取样才能确定。矿区地貌为低山丘陵区，地形起伏不大，最高点为应灵山，标高为**180.4**米，最低点位于矿区西侧的沂河附近，标高在**119**米左右。相对高差**61**米。区内冲沟不太发育、但大气降水排泄通畅，

有利于地表径流。区内植被发育，零星露头常可见到，地势低洼处，第四系发育。

矿区中的糜棱岩带成群成组出现，规模大小不一，糜棱岩带沿走向延伸稳定，碎裂构造发育，糜棱岩和围岩界线不明。以往曾在沂沭断裂带中南段开展过 **1**：**20**万化探扫面工作，沂沭断裂带中部异常区主要分布在沂水——汤头断裂的汞丹山凸起，以**Au**为主，伴有少量的**Ag**、**Cu** 、**Pb**、**Zn**、**As**、**Sb**、**Bi**异常。**Au**异常强度高，浓度分带明显，区内主要分布新太古代、早元古代变质变形侵入岩和中太古代变质地层。

5.1.3.1 龙泉站—石屋官庄地段土壤化探异常特征：

2002年在该区龙泉站—石屋官庄地段完成了**1**：**1**万土壤测量**2**平方公里，其主要元素异常下限及特征如表**5-3**所示。

表**5-3** 龙泉站—石屋官庄地段土壤测量元素异常下限表

Table 5-3 the Table of Measuring Soil Element Unusual lower Limit in the Longquanzhan-shiguguanzhuang

参 数	元 素					
	Au(10^{-9})	**Ag(10^{-9})**	**Cu(10^{-6})**	**Pb(10^{-6})**	**As(10^{-6})**	**Sb(10^{-6})**
异常下限**CA**	**15.0**	**400**	**60**	**60**	**8.0**	**0.8**
均值	**5.53**	**317.72**	**40.02**	**37.85**	**5.87**	**0.55**
离差	**5.12**	**70.43**	**11.21**	**15.12**	**1.46**	**0.17**

根据上述异常下限，共圈定编号金异常**5**处、银异常**3**处、铜异常**5**处、铅异常**5**处、砷异常**8**处、锑异常**3**处，各异常套合较好，总体沿沂水一汤头断裂下盘呈带状分布。在编号异常的周围，还分布有若干规模较小的各元素异常。各组合异常特征见表**5-4**和图**5-7**。

表**5-4** 龙泉站—石屋官庄地段各组合异常特征一览表

Table 5-4 the Character of Each element combination in the Longquanzhan-shiwuguanzhuang

异 常 编 号	元素组合	金异常面积 (km^2)	金最高含量 (10^{-9})	衬度
APl	**Au、Ag、Cu、Pb、As、Sb**	**0.09**	**>500**	**2.4**
AP2	**Au、Ag、Cu、As**	**0.02**	**274.3**	**36.2**
AP3	**Au、Cu、Pb、As**	**0.06**	**244.1**	**1.72**
AP4	**Au、Ag、Cu、Pb、As、Sb**	**0.074**	**109.9**	**1.5l**
AP5	**Au、Ag、Cu、As、Sb**	**0.016**	**>500**	**15.59**

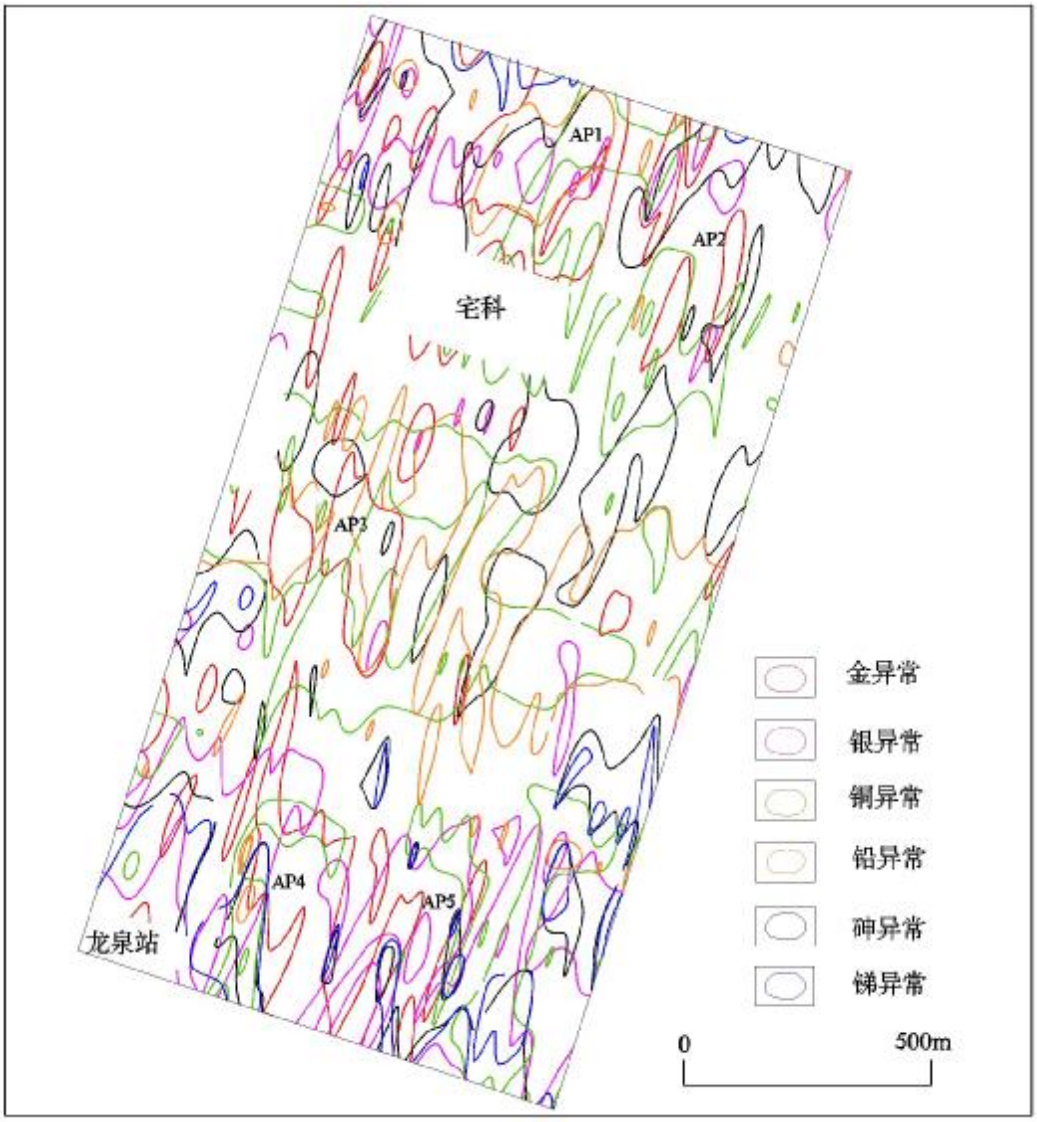


图**5-7** 龙泉站地段地球化学综合异常图

Fig 5-7 Integrate abnormity of geochemistry in longquanzhan area

Au异常下限为**15**×10^{-9}，最高值为**>500**×10^{-9}。从金元素地球化学图上可以看出，异常浓集中心明显、大致按10^{0}方向展布，异常大多数位于沂水—汤头断裂带下盘且与之平行，根据异常分布情况可确定该区有**3**个异常集中分布区，均位于糜棱岩质构造碎裂岩中，经探槽揭露证实，在该地区已发现的金矿体均位于异常区内，与异常对应较好。

Pb异常：集中分布于区内中北部，异常带东西宽**1000**米，南北长**800**米，分于糜棱岩质构造碎裂岩中。**Pb**异常含量一般在**60**×10^{-6}—**300**×10^{-6}之间。

Ag异常：**Ag**异常的分布范围主要在调查区的南部，下限为**400**×10^{-9}、最高超过**2000**

$\times 10^{-9}$。

区内Cu异常与金、银异常套合较好。As、Sb异常分布较零散、局部与金、银异常套合较好。

5.1.4.2 石屋官庄—郑家庄地区土壤化探异常特征

本次普查共完成土壤测量4km²，分析项目Au、Ag、Cu、Pb、Zn、As六项。异常下限特征见表5-5。

表5-5 石屋官庄一郑家庄地段土壤化探测量各元素异常下限统计表

Table 5-5 the Table of Measuring Soil Element Unusual lower Limit in the Shiguguanzhuang-zhengjiazhuang

参 数	元素					
	Au(10^{-9})	Ag(10^{-9})	Cu(10^{-6})	Pb(10^{-6})	Zn(10^{-6})	As(10^{-6})
异常下限 CA	5	56.89	39.77	49.29	67.7l	10.97
均值	2.90	38.46	22.75	27.72	45.10	6.84
离差	1.05	9.21	8.51	10.78	11.31	2.29
变异系数	36%	24%	37%	39%	25%	33%

共圈出编号单元素金异常42处、银异常20处、铜异常14处、铅异常14处、锌异常10处、砷异常13处。套合较好、规模较大的组合异常共7处(图5—8)，总体沿沂水——汤头断裂下盘呈NNE向带状分布。在编号异常的周围，还分布有若干规模较小的单元素异常，各组合异常特征见表5-6。

表5—6 石屋官庄一郑家庄地段各组合异常特征一览表

Table 5-6 the Character of Each element combination in the Shiwuguanzhuang-zhengjiazhuang

组合异常编号	元素组合	金异常面积 (km^2)	金最高含量 (10^{-9})	金元素衬度
APl	Au、Cu、Pb、 Zn、 AS	0.0l	22.5	2.77
AP2	Ag、Cu、Pb、Zn	0.0l	1400	4.01
AP3	Au、Cu、Pb Zn、As	0.33	33.6	2.00
AP4	Au、Ag、Pb、Zn	0.0l	34.9	1.90
AP5	Au、Ag、Cu、Pb	0.01	41.1	2.77
AP6	Au、Ag、Pb、Zn、As	0.3l	1490	308

AP7	Au、 Ag、Cu、Pb、Zn	0.015	45.0	9.2

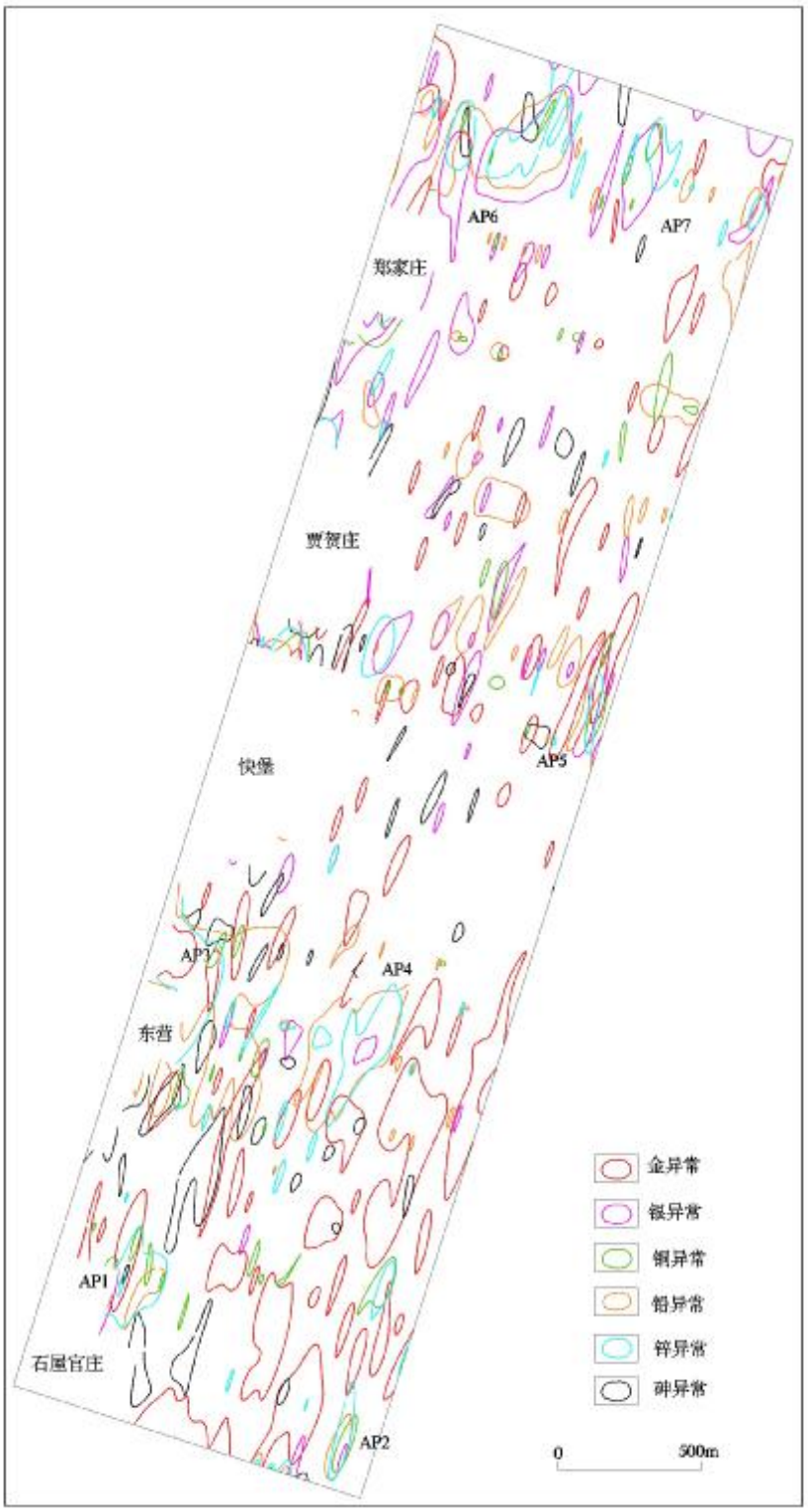


图**5-8** 石屋官庄—郑家庄地段综合异常图

Fig 5-8 Integrate abnormity of geochemistry in shiwuguanzhuang—zhengjiazhuang area

重点异常的解译与推断

A、APl异常：位于石屋官庄村东北，中心点坐标**X：3951400，Y：40375500**。异常面积**0.0lkm²**，呈大致**15°**走向展布，东西最宽**60m**，南北长**350m**。金元素最高含量大于**22.5×10⁻⁹**，同时伴有**Cu、Pb、Zn、As**异常。

异常区内岩石为早元古代傲徕山超单元条花峪单元中细粒黑云二长花岗岩，岩石破碎。沂水——汤头主断裂从异常区西侧穿过，上盘为大盛群页岩、粉砂岩，下盘发育有北北东向韧性前切带、走向**13°**，宽度**20～90m**. 带内岩石糜棱岩化强烈，岩石呈绿灰色、灰黄色，矿物定向拉伸明显，面理、线理发育，具硅化、绿泥石化、绢云母化、黄铁矿化蚀变。

该异常面积较大，强度较高，为验证异常，在其中布设了探槽一条**(TCl01)**，钻孔一个**(ZK8701)**。其中**TCl01**探槽的**2、17、18、19**号样品含金**0.32×10⁻⁶**，**ZK8701**钻孔的**3l**号样品金含量为**1.41×10⁻⁶**，因此，该异常由糜棱岩质碎裂岩及碎裂状二长花岗岩中的矿体及矿化蚀变引起。

B、AP2异常：位于英灵山北西侧，近北北东向条带状分布，中心点坐标**X:3950800;Y:40376100**。东西宽**50m**，南北长**lOOm**，面积约**0.0lkm²**。金元素最高含量**1400×10⁻⁹**，同时伴有**Ag、Cu、Pb、Zn**异常，但金与其它元素套合不好。

异常内地势东高西低，第四系覆盖厚**0.2～0.5m**，岩性以糜棱岩质构造碎裂岩为主，该异常区发育在宅科一英灵山韧性剪切带中段、宽**30—150m**，带内岩石糜棱岩化作用强烈，岩石具绿泥石化、绿帘石化、绢云母化、白云母化，但矿化较弱、以褐铁矿为主。

该异常区西侧施工了**TCll8**，金含量最高为**0.24×10⁻⁶**，多数样品为**0.12X10⁻⁶**，矿化微弱。

C、AP3异常：位于东营南——快堡村南，呈不规则状分布，异常面积**0.43km²**，中心点坐标**X：3952800，Y：40375700**，共包括**4**个金元素异常，金最高含量**33.6×10⁻⁹**，伴有**Cu、Pb、Zn、As**异常，其中**Pb、Zn、Ag**异常套合较好、且与快堡铅锌矿点对应。

异常区内地势平缓、东侧稍高，第四系浅覆盖。异常大部份位于沂水——汤头断裂带东侧，该断裂带以西为中生代白垩纪大盛群马朗沟组紫红色砂岩，以东分布有韧性剪切带，它是牛家小河—龙泉站—丰台湖韧性剪切带的一部分，其岩性为糜棱岩质碎裂岩，局部出露花岗质糜棱岩。糜棱岩质碎裂岩，呈褐黄、灰黑色，压碎结构，角砾状、碎裂状、蜂窝状构造。岩石具褐**(**黄**)**铁矿化、绢英岩化、钾化、绿帘石化。黄铁矿呈细脉状、浸染状、团块状分布。

为验证该异常，在其内施工了TCl02、TCl03、TCl08三条探槽及ZKl050l钻孔，其中在TCl03号探槽的26号样金品位0.80×10^{-6}，ZKl050l钻孔中的27-28号样品(98.66-100.7lm)含金分别为0.68、0.50×10^{-6}，岩性均为糜棱岩质构造碎裂岩，表明异常是由主断裂带下盘的韧性剪切蚀变带引起。

D、AP4异常：位于东营村东450m处，异常形状不规则，异常面积0.0lkm^2，中心点坐标X：3951850，Y：40376300，金含量最高为34.9×10^{-9}，元素组合Au、Ag、Pb、Zn。

异常区内地势中高周低、相对高差30m，第四系厚约0.2-0.5m。区内岩性为条花峪单元中细粒黑云二长花岗岩，岩体中出露有NE和NWW二组方向的硅化碎裂岩条带，条带中硅化蚀变强烈，局部地段出现铅矿化。

为验证异常，在其内共施工了WTCl0l、WTCl02、WTCl03三条探槽，其中WTCl01探槽的1-l、l、2、3、4、5、6、7金品位1.03-3.48×10^{-6}，在WTCl02、WTCl03号探槽含金最高0.16×10^{-6}。通过揭露，说明该异常是由金矿化(体)形成，该异常为指导找矿起着重要作用。

E、AP5异常：位于快堡村东北约800m，异常形态为走向15°的带状，面积<0.0l km^2，中心点坐标X：3953000，Y：40376800。包括3个金异常，金最高含量41.1×10^{-9}，元素组合Au、Ag、Cu、Pb。该组合异常与激电双频测量的I号异常大致套合。

异常区内地势较平缓，东侧稍高。第四系厚约0.3—1.3m，属浅覆盖区，基岩出露较差，东侧出露岩性为条花峪单元黑云二长花岗岩，岩体中闪长玢岩岩脉出露较多，走向为NE20°—30°，岩脉中局部可见有褐铁矿化蚀变，但矿化较弱。

在异常区东侧施工了TCll9号探槽，从揭露情况看，多数样品金含量较低。但该区物、化探异常套合较好，因第四系覆盖较厚，没能施工更多工程，下一步应进一步揭露验证。

F、AP6异常：位于郑家庄村南北一带，异常形态不规则，为大致北宽南窄的带状分布，总面积约0.31km^2，中心点坐标X：3954500，Y：40376500。包括2个金元素异常、3个银异常、1个铜异常、1个铅异常、1个锌异常和1个砷异常，其中金、银异常主要发育在沂水——汤头断裂下盘不远处且套合好，铅、锌、银发育在主断裂东侧，在郑家庄村东北一带套合亦较好。金最高含量达1490×10^{-9}，银最高1556×10^{-9}，铅最高106×10^{-6}。

异常区内地形平缓，沂水——汤头断裂从西侧穿过，其西盘出露大盛群黄绿色页岩，主裂面下盘为龙泉站——石屋官庄——郑家庄韧性剪切蚀变带、宽80-100余米。蚀变带东侧出露岩性为条花峪单元黑云二长花岗岩体，岩体中局部地段出露NE向石英脉，但规模一般不大。

异常区内施工了TCl04、TCl05、TCl07共3条探槽，其中TCl04、TCl05布置在郑家庄村南揭露金异常，TCl07布置在郑家庄村东北揭露银、铅、锌异常。从揭露情况看，龙泉站——郑家庄韧性蚀变带在该地宽达近百米，带内蚀变矿化强烈，主要有绿硅化、绢云母化、泥石化、绿帘石化、褐铁矿化、黄铁矿化和弱黄铜矿化等。其中TCl05探槽28号样含金088×10^{-6}，95、96、97号样含金0.27、0.38、0.20×10^{-6}，TCl04探槽的l、2、3、4、5号样含金分别为0.74、0.49、0.30、0.12、024×10^{-6}。显示了良好的找矿线索。

G、AP7异常:位于郑家庄村东1km，形态为走向20°的长椭圆状，总面积约0.0lKm^2，中心点坐标X：3954400，Y：40377000。包括1个金元素异常、1个银异常、2个铜异常、1个铅异常、1个锌异常。金最高含量45.5×10^{-9}，银最高302×10^{-9}。元素组合Au、Ag、Cu、Pb、Zn。其中Ag、Cu、Pb、Zn四元素套合较好、但与金元素不套合。

异常区内地形平缓，第四系厚度0.3-0.5m，出露岩体为条花峪单元片麻状黑云二长花岗岩，北东向次级断裂有少量出露，覆盖较重。异常查证时在区内施工了TCl06探槽揭露，含金微弱。

综上所述：龙泉站矿区化探异常有如下特点:

①在区内已知的矿床（点）、矿化带及成矿有利地段往往有金异常及其伴生元素异常存在。

②与金矿化有关的金异常一般强度、规模、衬度都比较大，并且呈现浓集中心和分带性。化探异常点大多分布在沂水——汤头断裂的破碎带内，远离破碎带，化探异常点变少。

③区内化探异常一般矿化导致异常，它可很好的指示找矿方向及范围，为区内外围找矿提供了依据。此外，As、Sb高异常区表明热液活动强烈，与其它条件结合也可能是有利的成矿地段。

造成这种化探异常特点的原因与地层含矿性和混合岩化对含矿层的改造以及区域构造的活动有关。

5.2 控矿因素分析

研究结果表明,控制龙泉站 金矿床各类矿化类型及矿体的因素,主要有韧性剪切带、基性火山岩系和区域构造。

5.2.1 韧性剪切带

韧性剪切带对金矿的控制作用已引起国内外学者的广泛重视(毛景文等，1998；王鹤年等，1992)。普遍认为，韧性剪切变形变质与成矿有密切的联系:①韧性剪切带的片理化带既为流体提供通道和容矿空间，也为流体和围岩之间的化学反应及金的“萃取”提供了可能；②韧性剪切带是地壳中薄弱带，在后期地质作用中易于复活，其多期(次)活动往往诱发或伴随岩浆活动或热液活动以及成矿作用的发生;③区域韧性剪切带延伸远，涉及深度大，有利于不同构造层、深部和浅部的流体循环，可提供广泛的矿质和流体来源。

金矿化带发育地段与韧性剪切变质岩的交代蚀变作用和硫化物作用的强度呈正相关。在低温韧脆性剪切带内，绢云母(多硅白云母)+黄铁矿，绿泥石+黄铁矿等矿物组合最发育的地段也是金矿化最佳的位置，在多数情况下，上述两个组合中均含有铁白云石(G.N.philipss,1986) 。

龙泉站金矿床的金矿带(体)均分布于区域韧性剪切带内的后期控矿韧脆性剪切带之中。蚀变花岗质糜棱岩、蚀变花岗质金矿体呈透镜状、似层状及裂隙状分布于控矿韧脆性剪切带内；含金蚀变岩型金矿体呈透镜状、雁列式排列；蚀变作用中新生矿物呈 X 型排列；伴随韧脆性变形生成的细脉呈雁列状、X 型等都与韧性剪切作用密切相关。韧性剪切带经历了退化变质作用的演化过程。当温度大于 500℃时的韧性变形期不仅使基性火山岩系中的金活化迁移，而且为含金流体的上升运移提供了良好的通道，并为含金流体与围岩的相互作用提供了良好的空间。温度降至 200℃-500℃时，韧性剪切带演化为脆韧性或韧脆性剪切带，伴随碳酸盐化—钠长石化、绢云母化—碳酸盐化和绢英岩化，金在剪切带局部张扭性空间生成的五角十二面体黄铁矿和粗粒黄铁矿裂隙中沉淀、富集。当石英脉及石英—钠长石脉垂直 C 面理或大角度斜交 C 面理生成(与 σ_1 方位近于平行)时，金随 SiO_2 和金属硫化物在此类扩容空间沉淀。总之，本区发育的韧性剪切带是金矿形成、富集及演化的重要控矿因素之一，尤其在韧脆性变形期更为突出。金矿体一般产于区域韧性剪切带内的后期控矿韧脆性剪切带之中。

5.2.2 基性火山岩系

本区变质岩系的原岩由超基性、基性、中基性火山岩和部分沉积岩组成，而以基性和中性火山岩为主，主要形成于岛弧环境。

我国大多数金矿的分布都受一定地层和岩石组合(建造)的控制。罗镇宽(1993)把为金矿成矿提供金及其它成矿元素的地层单元称为含金地层建造。金矿床可以直接产在含金建造中，也可以产在其上覆地层中。中国主要的含金地层建造有:早前寒武纪变基性火山岩(绿岩)建造;元古宙-古生代变碎屑岩(浊积岩)建造;元古宙-古生代中基性火山岩(细碧岩)建造;显生宙粉砂质、泥质及碳酸盐质建造;晚古生代-中新生代钙碱性火山岩建造。根据宏观和微观研究，区内的沂水岩群和泰山岩群原岩为一套中酸性火山碎屑——中基性火山岩建造。原始火山喷发沉积物质富含 Au、Fe、Ag、S 等元素，成为本区的含金建造。

蚀变岩型金矿石是研究区内重要矿石类型之一；硅化黄铁矿化糜棱岩质碎裂岩、硅化黄铁矿化绢云母化花岗质碎裂岩及石英脉型金矿石有规律地分布在沂水岩群、泰山岩群及前寒武纪基性火山岩中，并受其控制。各钻孔中所采矿石黄铁矿中的元素成分中，他形粒状黄铁矿比自形黄铁矿 Ni 含量高，浅部的不如深部的 Ni 的含量高，这一由浅部到深部 Ni 含量不断增大的规律，说明是岩浆成因或基性火山活动所致(表 5-7，5-8，5-9，5-10 和文字说明)。

表 5-7 ZK3601 钻孔矿石黄铁矿中的元素成分

Table 5-7 the Element Composition of Pyrite in the Ore of ZK3601

	元素	样号：3601-3（深 75 米）		样号 3601-1（深 82 米）	
		点 1	点 2	点 3	点 4
分析结果/%	As	-	0.124	-	-
	Pb	0.152	0.058	0.272	0.037
	S	53.384	-	53.262	53.33
	Zn	-	0.253	0.063	-
	Au	-	-	-	-
	Ni	0.038	-	0.042	-
	Ag	-	-	0.022	0.01
	Fe	46.599	99.793	45.271	46.366
	Cu	0.038	-	0.025	-
	Te	-	-	-	-
	Total	100.211	100	98.957	99.743

ZK3601 钻孔 4 个点的资料显示由 75 米到 82 米 As, Ag 从无到有，Ni 从少到多，黄铁矿中伴有闪锌矿、方铅矿和黄铜矿，该钻孔从 82.63—83.63 米为金矿体（8.19g/T），说明，Ag 是金矿的重要指示元素。从 Ni 的变化来看，成矿热液来自深部。

表 **5-8** ZK0002 钻孔矿石黄铁矿中的元素成分

Table 5-8 the Element Composition of Pyrite in the Ore of ZK0002

	元 素	样 号 0002-6（深 169 米）		
		点 1	点 2	点 3
分析结果/%	As	0.072	-	-
	Pb	0.177	0.253	0.071
	S	0.026	35.172	52.57
	Zn	-	-	0.002
	Au	0.005	0.013	0.033
	Ni	-	0.006	0.013
	Ag	-	-	0.003
	Fe	99.699	30.122	46.673
	Cu	0.021	33.406	0.014
	Total	100	98.972	99.379

表 **5-9 ZK0001** 钻孔矿石黄铁矿中的元素成分

Table 5-9 the Element Composition of Pyrite in the Ore of ZK0001

	元素	样 号 0001-4（深 41 米）				样 号 0001-6（深 45 米）			样 号 0001-11（深 76 米）		
		1	2	3	4	1	2	3	1	2	3
分析结果/%	As	-	0.02	-	-	-	0.048	-	-	-	-
	Pb	0.06	0.04	0.02	0.011	0.128	0.016	-	0.08	-	0.03
	S	53.94	0.01	53.08	34.604	35.16	53.06	53.46	53.49	36.05	53.66
	Zn	-	-	0.06	-	0.024	0.027	0.029	-	-	-
	Ag	0.02	0.07	-	-	-	-	0.016	-	-	-
	Cu	-	-	-	33.824	34.362	-	-	0.02	33.79	0.06
	Au	0.06	-	-	-	-	0.066	-	-	-	-
	Fe	45.34	99.86	45.58	29.763	30.586	46.221	45.15	45.59	30.15	46.27
	Ni	0.01	-	0.01	0.036	0.002	-	-	0.01	-	0.01
	Total	99.43	100	98.75	98.238	100.262	99.438	98.66	99.19	99.99	100.03

ZK0001 和 ZK0002 相距 170 米，金矿体的深度为 52.38-54.38 米（6.88g/T）,Ag 的含量变化与金关系密切，黄铜矿是金的主要伴生矿物，Ni 仍有随深度增加的趋势。

表 **5-10** ZK0802 和 ZK0801 钻孔矿石黄铁矿中的元素成分

Table 5-10 the Element Composition of Pyrite in the Ore of ZK0802 and ZK0801

分析结果%	元素	样 号 0802-1（深 27 米）			样 号 0802-5（深 101 米）	样 号 0801-17（深 72 米）		
		1	2	3	1	1	2	3
	As	-	0.056	0.052	0.053	-	0.034	-
	Pb	-	0.411	0.185	0.017	-	-	-
	S	71.483	70.874	53.347	52.654	53.083	-	34.959
	Zn	0.139	0.058	-	0.1	0.01	-	-

	Au	0.051	0.038	-	-	0.021	0.06	-
	Ni	-	-	-	0.001	-	0.003	0.004
	Ag	0.026	0.066	-	0.003	0.011	-	0.015
	Cu	-	-	0.02	0.03	-	-	34.397
	Fe	28.301	28.497	46.407	47.428	46.741	99.901	30.31
	Te	-	-	-	0.022	0.075	-	0.016
	Total	100	100	100.011	100.308	99.941	99.998	99.701

08 勘探线的 2 个钻孔相距 170 米，0802 孔的浅层矿化在 25 米深度，此时无 Ni 元素出现，随着深度增加，Ni 元素增加。

5.2.3 区域构造

沂沭断裂带是中国东部有名的一条切割地壳的深大断裂带，也是中国东部一条重要的中、新生代岩浆活动带、成矿带。龙泉站矿区位于沂沭断裂带内，区内构造活动强烈，尤其在中、新生代岩浆活动，火山喷发，可以将地壳下部的金带入上部，稍后的韧性剪切活动对本区矿体富集有一定作用。经过区域韧性剪切带(导矿、控矿构造)，使金在控矿韧性剪切带内(容矿构造)富集。因此，导矿、控矿、容矿构造发育齐全(冯黑科、韩会平，2000)，区域构造经晋宁期、加里东期、印支期及燕山期的长期演化是该矿床形成的重要控矿因素之一。

5.3 矿区成矿预测

5.3.1 深部成矿预测

深部成矿预测的主要依据为构造、矿床、EH-4连续导电率剖面解译及区域遥感影像解译和化探，此外结合地层、岩石等出露情况。综合地、物、化研究成果，对龙泉站金矿床深部成矿预测提出以下认识：

目前开采的南小尧和牛家小河矿床已分别采至一230m和一90m，中段龙泉站矿区，钻孔控制标高已达350多米，但糜棱岩带并没尖灭，南小尧矿床在300m标高以下仍有高品位金矿化，另外根据龙泉站矿区前面EH-4连续导电率剖面深部低电阻推测为矿化带的分析，以及矿液运移方向和矿体侧伏规律，在南小尧—龙泉站—牛家小河矿带内的深部仍有找矿前景。建议进一步开展深部找矿工作。

5.3.2 外围找矿方向

外围指龙泉站金矿床现在的南小尧—龙泉站—牛家小河主要矿带以外的地区，这里主要指矿段南部的涌泉庄矿段。涌泉庄位于龙泉站以南，沂南县河阳镇涌泉庄——库沟一带，沂水——汤头断裂以东，汞丹山凸起区南部。

零星分布有黑云变粒岩、斜长角闪岩，常以包体形式赋存于变质变形花岗岩体内，属沂水岩群林家官庄岩组；在沂水——汤头断裂以西为大盛群马朗沟组暗紫色砾岩、砂砾岩、砂岩；第四系为山前组残坡积物，岩性为含砾砂质粘土。

区内构造发育，走向以北东向为主，主要有沂水——汤头断裂、涌泉庄——何家村断裂；近东西向断裂为辅，主要发育在涌泉庄——田家营断裂，与本区的金矿化关系较密切。

本区岩浆发育，主要有傲来山超单元条花峪单元的片麻状中粒黑云二长花岗岩；蒙山超单元龟蒙顶单元片麻状中粒花岗岩长岩，望府山单元条带状细粒英云闪长岩，石校单元片麻状细粒黑云石英闪长岩。脉岩有花岗岩、闪长玢岩、煌斑岩、辉长岩等。

南小尧——龙泉站——牛家小河这一条沿沂水——汤头断裂断断续续延伸，向南延伸到涌泉庄，甚至沿沂水——汤头断裂继续向南延伸到达临沂境内。

涌泉庄段区内岩石破碎、蚀变强烈。破碎带内岩性为褐铁矿化辉长岩质碎裂岩，黑褐色，碎裂结构，角砾状构造。矿化蚀变主要有褐铁矿化、硅化、绢云母化。已发现一金矿体主要赋存在错断沂水——汤头断裂的东西向次级断裂内。区内化探异常发育，元素组合为 Au、Ag、As、Sb，金最高含量 202×10^{-9}。表明该地段矿液活动强烈，有矿液运移的通道存在，东西向断裂错断沂水——汤头断裂，正是沂水——汤头深断裂为矿液提供了通道。在其深部有可能存在工业矿体。该矿点处构造、岩浆岩发育，矿化蚀变较强烈，具有较好的成矿条件。具有找矿前景。

总之，龙泉站金矿床外围各矿段金矿床处于相同的区域构造部位，具有相同的矿床构造与成矿环境，区域韧性剪切带、控矿韧脆性剪切带以 NNE-SWW 方向延伸到外围地区，控矿因素相同(似)；沂水岩群、泰山岩群基性火山岩透镜体可提供部分金矿物质；深部含金流体沿导矿、控矿构造在成矿有利部位可富集形成一定规模的金矿体。通过进一步深入细致的地质研究工作，找到储量可观且品位较高、规模较大金矿体是可能的（图 5-9）。

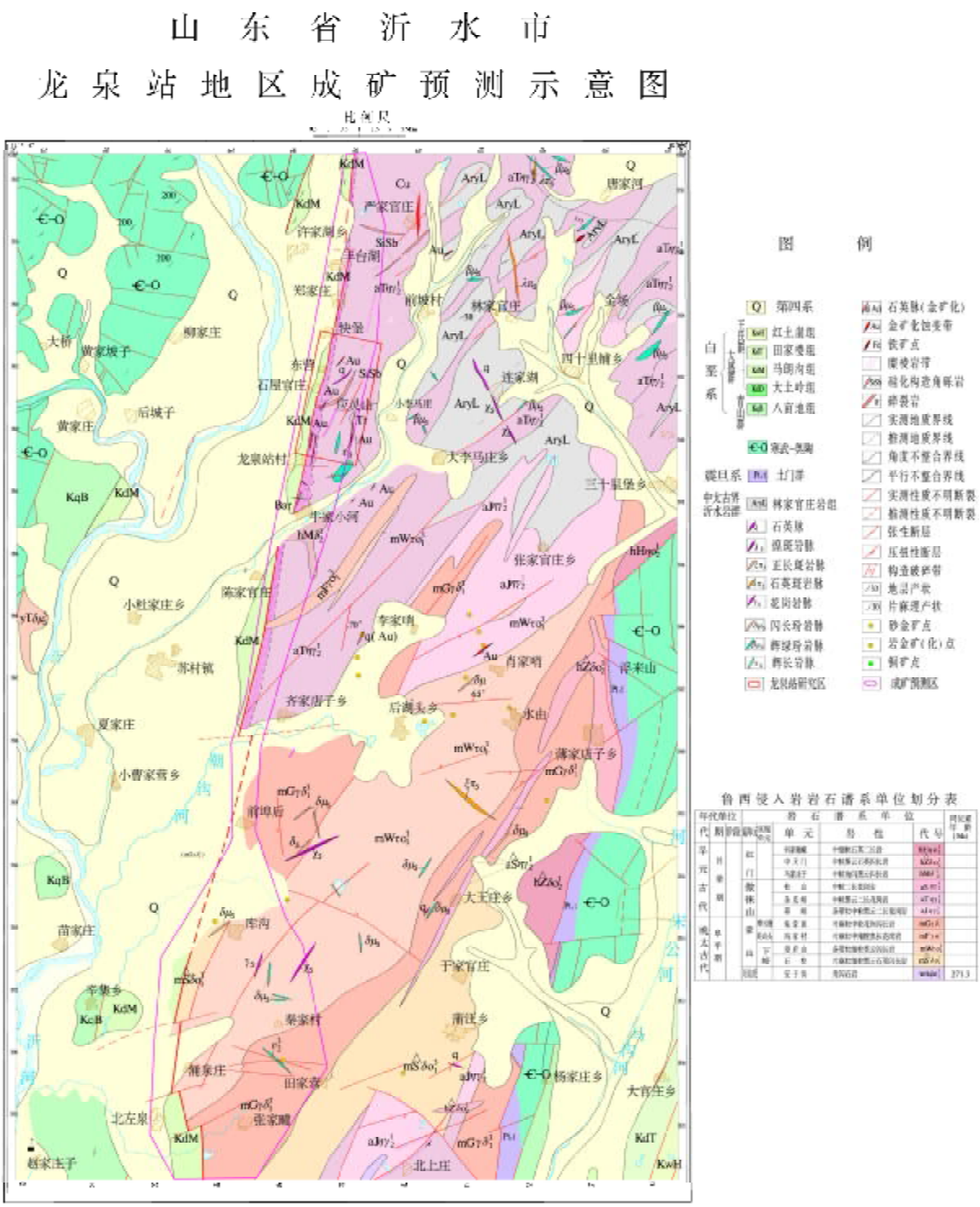


图 **5-9** 龙泉站矿区预测图

Fig 5-9 Perspective Prediction of Lonquanzhan Gold Mine

6 结 论

本文通过收集和分析前人资料、野外调研、室内鉴定和测试等，结合龙泉站金矿床的实际特征，取得了以下主要成果和认识：

1.初步总结了该区韧性剪切带的控矿特征。矿床的形成与韧性剪切带的形成、发展、演化密切相关。矿床的展布严格受区域性韧性剪切带控制；工业矿体的分布严格受次级的韧脆性剪切带的控制；后期脆性构造对矿体有一定的改造和破坏作用，同时也加强了金的再一次富集。

2.研究区发育区域韧性剪切带。剪切带内有强变形带和弱变形域。强变形带发育的“σ”型旋转碎斑系、S-C 面理、单斜对称压力影、动态重结晶颗粒定向排列等显示，韧性剪切带经历了左行、右行、压扭、张扭等多期(次)活动，剪切方位也多次变化。

3.控矿剪切带常发育含在区域韧性剪切带之中，而形成晚于区域韧性剪切带，其宽度小，脆性程度增加，一般呈舒缓波状沿走向、倾向延伸(深)，其中石英、方解石发育波状消光、镶嵌消光、变形纹、变形条带等粒内塑性变形特征，说明控矿剪切带是区域韧性剪切带经韧脆性变形的产物。

4.金矿的形成、富集与区域韧性剪切带、控矿韧脆性剪切带以及区域构造活动密切相关。

5.根据地、物、化数据分析，结合当地的实际，对矿区深部矿体进行了预测；对矿区外围矿产资源前景进行了分析、预测、找到靶区。龙泉站金矿床外围找矿资源前景很好。通过深入细致的调查研究工作，有望找到品位较高且规模较大的金矿体。

总之， 郯庐断裂带是中国东部的一条著名的巨型断裂带,沂沭断裂带是郯庐断裂带在山东的一段。断裂带由四条大致平行的大断层组成,自西向东分别为鄑郜—葛沟断裂、沂水—汤头断裂、安丘—莒县断裂和昌邑-大店断裂,这几条断裂联合构成“两堑夹一垒”的构造样式,明显地控制着区内的沉积建造、岩浆活动和成矿作用。沂沭断裂带中段是沂沭断裂带的重要组成部分，在其中段龙泉站地区，发现了产出于沂水—汤头断裂带下盘韧性剪切带中的蚀变岩型金矿床。该金矿的发现,说明沂沭断裂带具有导矿、控矿、容矿的性质,为超大型断裂的含矿性提供了证据。为今后找矿指明了新的方向。

致 谢

本文是在三位导师杨锋杰教授、莫德鼐教授、王来明教授的精心指导下完成的。在三年研究生学习期间，三位导师严谨求实的治学作风，勤奋敬业的献身精神，一直鼓舞着我努力学习、奋发图强。在论文的撰写阶段，三位导师倾注了大量的精力，花费了许多宝贵时间，给予了严肃、认真的检查和指导。值此论文完成之际，特向尊敬的三位导师表示真挚的感谢和由衷的敬意！

感谢以卢秀山院长为核心的各位学院领导、院办的全体老师所给予的生活及学习上的关心和帮助。

感谢薛彦辉老师、金爱文等老师给予的学术思想的启迪。

感谢山东省地调院在资料方面的支持和帮助，尤其李洪奎高级工程师和李英平高级工程师，在次表示深深的谢意，

感谢各位师兄、师姐、师弟、师妹的热情帮助和亲情般的关怀。

感谢所有关心和帮助我的人们。

最后还要感谢我的家人。感谢他们在我学业上大力支持和无私的奉献。

参考文献

1．国家地震局地质研究所著，郯庐断裂[M],北京：地震出版社，1987，1-6

2．林传勇，等著，韧性剪切带与金矿化的关系[M],1995,35-36

3．刘铁兵，山东蒙阴常马走滑式韧性剪切带控矿研究[J],地质与勘探,2001.1

4．邱小平，深部韧性剪切变形与金矿成矿作用[J],黄金地质,1999.9

5．徐贵忠,周瑞,王艺芬,佘宏全,李兵,杜本明,宋明春,胶东和鲁西地区中生代成矿作用重大差异性的内在因素[J],现代地质,2002.3

6．张家声，沂沭断裂带中段基底韧性剪切带[J],地震地质,1983.6

7．李洪奎，杨永波，田京祥等，山东沂沭断裂带中段金矿床地质特征[J],2004.7

8．孙正平，张桂兰，赵军，王志纲，聂宏彪，内蒙古中部韧性剪切带形成机理和控矿标志研究报告[M] 1993,13-21

9．地质矿产部秦巴协调领导小组著,韧性剪切带与金矿成矿关系及韧性剪切带糜棱岩研究[M],1989 年 5 月

10．马启波等著,中国热液金矿含金建造及成矿作用与找矿方向[M],北京：地质出版社 1994

11．曲国胜，剪切带金矿成因——阿尔泰造山带中剪切带型金矿预测[J],大地构造与成矿学,1991.9

12．曲亚军,高段兰,韧性剪切带与金矿[J],辽宁地质科技情报,1991.5

13．游文澄，伦志强等，山东省区域地质志[M],北京：地质出版社，1991.

14．刘金友，高池兴，赵新峰，鲁中南地区燕山期侵入岩与金矿[J]，黄金地质,2002.6

15．吴桂祥,淮胶辽地区构造演化与金成矿特征探讨[J],黄金，2002.6

16．任有保,于玉兰,沂水北部沂沭断裂带构造透镜体特征[J] 山东地质 1996.6

17．翟裕生,林新多主编,矿田构造学[M]，北京：地质出版社，1993.5

18．何绍勋，段嘉瑞，刘继顺，张曾荣主编，韧性剪切带与成矿[M],北京：地质出版社，1996.6

19．杨亮，金矿床与韧性剪切带的关系[J],国外前寒武纪地质，1996.3

20．李晓峰，华仁民，冯佐海，韧性剪切带变形变质作用与金的矿化富集，桂林学院学报，2001.7

21. 沈远超，曾庆栋，刘铁兵，李光明，申萍，孙秀英，郯庐断裂与金矿成矿**[J],**世界地质 **2003.3**

22. 赵凤桐，徐光荣，梁宜林，赵宏光，王好均，吉林省西林河脆-韧性剪切带及其与金矿化的关系，贵金属地质，**1996.**

23. 关键，孙丰月，刘洪文，吉林省东部韧性剪切带特征及其与金银成矿关系，地质与勘探，**2004.3**

24. 沈其韩，山东沂水杂岩的组成与地质演化**[M]**，北京：地质出版社，**2000.6**

25. 张家声，郯庐断裂的性质和意义**[J]**，地球科学——中国地质大学学报，**1992.7**

26. 朱光，王道轩，刘国生，宋传中，徐嘉炜，牛漫兰，郯庐断裂带的伸展活动及其动力学背景[J]，地质科学，2001.7

27. 朱光，徐嘉炜，沂沭断裂带内盖层的剪切变形及其构造意义[J],长春地质学院学报，1995.7

28. 周建波，胡克，沂沭断裂晋宁期的构造活动及性质**[J]**，地震地质，**1998.9**

30. 郯鲁断裂带的形成与演化：综述**[J]**，现代地质，**1996.6**

31. 郭涛，吕古贤，邓军，焦家金矿床容矿裂隙特征及构造解析**[J],**地球学报，**2000.2**

32. 鲫敏，韩先菊，金矿床主要矿物标型特征研究综述**[J],**黄金地质，**2003.12**

33. 陈柏林，构造形变类型与金矿化类型的关系**[J]**，世界地质，**2000.9**

34. 刘伟，广东河台金矿矿床成因及成矿规律研究**[D],**湖南省长沙市**:**中南大学，**2004.**

35. 贺振，牟乳金矿带的构造成矿作用与成矿预测研究**[D]**，陕西省西安市：长安大学，**2003**

36. 黄春鹏，福建省金矿成矿特征和成矿预测研究**[D]**，北京：中国地质大学，**2001.**

37.李洪奎，杨永波，李英平，田京祥，沂沭断裂带中段地质特征与金矿成矿作用**[J],** 地质调查与研究，**2004.12**

38. 陈新跃，铒厂沟金矿床构造特征及其对金矿的控制作用**[D],**陕西省西安市**:**长安大学，**2003.**

39. 刘秉光，易善锋，基底岩系对火山岩型金矿成矿意义**[J],**贵金属地质，**1995**

40. 曹国权，鲁西山区早前寒武纪地壳演化再探讨**[J],**山东地质，**1995.11**。

41. 王劲草，成矿构造系列的类型划分与应用研究**[D],**湖南省长沙市**:**中南大学，**2001.**

42. 宋明春，李洪奎，山东省区域地质构造演化探讨**[J],**山东地质，**2001.12**。

43. 刘玉强，山东省金矿床成矿系列及成矿规律**[J]**，矿产与地质，**2004.2**。

44. 莫德鼐，论山东大地构造划分与演化历史[M],中国教育研究，2000.2

45.沈保丰,骆辉,华北陆台太古宙绿岩带金矿的成矿特征[J],华东地质矿产杂志,1994.3

46.陈永清，赵鹏大，刘红光，鲁西金矿成矿组分的聚集与演化[J]，地球科学——中国地质大学学报。2001.1

47.张连昌，韧性剪切带的动力学及控矿作用研究进展[J]，地质与勘探，1999.3

48.陈伯林,与韧性剪切带有关的不同金矿化类型地质地球化学特征对比研究[J],地质地球化学，2000.

49. Hong J P and Miyata T. Strike-slip origin of Cretaceous Mazhan Basin,Tan-Lu fault zone[J],Shandong,east China.The Island Arc. 1999.

50. Wan T F.ed .Formation and Evolution of the Tancheng-Lujiang fault zone [M].Beijing:China Univercity of Geoscience Press.1996.

51. White S.H.Shear and fault controls of gold mineralization: an exploration overview[J].Bicetennial Gold 88,Poster Programme,1988.

攻读硕士期间的主要成果

1 发表轮文：

1. 氟硅酸的浓缩试验及氟硅酸分析方法研究，山东科技大学报（自然科学版），三人，第一位。
2. 煤炭资源的永继利用与可持续发展，矿井地置与资源环境论文集，四人，第二位。
3. 表面技术在气缸套上的应用现状与发展趋势，山东省第四届表面工程会议论文集，五人，第三位。

2 科研实践

本人在攻读硕士期间主要参加了一下科研工作：

（1） 《沂沭断裂带构造控金作用研究》。

（2） 《 矿山土地复垦与生态重建技术示范》。

图 版 说 明

●图版Ⅰ 薄片说明：

Ⅰ-1 岩石绿泥石化及残斑，表现出构造压力影。

Ⅰ-2 绢云母化，绿泥石化

Ⅰ-3 绿泥石化，黄铁矿化

Ⅰ-4 碳酸盐化、硅化、

Ⅰ-5 绿泥石化弱，以碳酸盐化和硅化为主，离矿化中心较远

Ⅰ-6 绿泥石化

Ⅰ-7 碳酸盐化、硅化强烈，长石绢云母化

Ⅰ-8 绿泥石化，绢云母化，碳酸盐化

Ⅰ-9 石英破碎：大的晶粒边上有小的碎颗粒；石英受压发生塑性变形，弯曲，定向排列，呈条带状。

Ⅰ-10 方解石脉，方解石脉分两期：早期的方解石脉大，后期的穿过早期的方解石脉，穿过石英，脉小。方解石脉的形成时间晚于糜棱岩的形成时间，一般是由于裂隙过水，形成方解石。

Ⅰ-11 石英破碎，内部波状消光。定向排列。

Ⅰ-12 石英碎裂，绿泥石受力定向排列，绿泥石沿裂隙分布；方解石脉穿过绿泥石，说明方解石形成晚于糜棱岩的形成，在糜棱岩形成过程中形成绿泥石。

Ⅰ-13 黄铁矿定向排列，充填在糜棱岩形成的裂隙中。绿泥石定向排列；碳酸岩脉穿插其中。

Ⅰ-14 正交偏光。岩石破碎，经受一定动力作用发生挤压破碎，但能拼合成一个整体。长石含量高，绢云母化，蚀变，但没有完全蚀变。碳酸盐交代斜长石。为后期次生构造。

Ⅰ-15 单偏光。岩石破碎，经受一定动力作用发生挤压破碎，但能拼合成一个整体。长石含量高，绢云母化，蚀变，但没有完全蚀变。碳酸盐交代斜长石。为后期次生构造。

Ⅰ-16 破碎结构，碎裂后黄铁矿充填在裂隙中。

Ⅰ-17 岩石受力挤压变形，各矿物近平行排列，呈条带状构造，定向排列。呈眼球状，脉状。

Ⅰ-18 黄铁矿充填在绿泥石小细脉中，黄铁矿晶形完好。

Ⅰ-19 早期碳酸盐化后，又发生硅化，硅化后石英保留了方解石得晶形，具有波状消光现象。碳酸盐脉分两期早期被硅化，晚期的小细脉切割硅化后的。

Ⅰ-20 石英受力定向排列。

Ⅰ-21 石英受力发生动态重结晶，呈透镜体状。绿帘石化。

Ⅰ-22 正交偏光。斜长石受力波状消光，斜长石内的磷灰石包体碎裂断开。

Ⅰ-23 单偏光。斜长石受力波状消光，斜长石内的磷灰石包体碎裂断开。

Ⅰ-24 斜长石受力发生塑性变形，斜长石碎裂岩裂隙碳酸盐化。

Ⅰ-25 石英变形呈石英砂钟结构。

Ⅰ-26 岩石发生碎裂。

Ⅰ-27 石英动态重结晶，呈透镜体状。岩石状态处在碎裂岩与糜棱岩之间

Ⅰ-28 岩石碳酸盐化后，又发生硅化，石英保留了方解石晶形。具有光洁面，具有波状消光现象。

Ⅰ-29 黄铁矿受力呈条带状分布。黄铁矿分两期：一期是早期形成的，岩石糜棱岩化时期形成的，呈条带状的黄铁矿；一期是后期形成的晶粒较大，定向不明显。

Ⅰ-30 原矿物不清楚，矿物周围受力形成压力影构造，后期的碳酸岩脉将其切割。

●图版Ⅱ 光片说明：

Ⅱ-1 金矿物呈粒状、角粒状分布于黄铁矿中，明显见4粒，0.02-0.05mm。黄铜矿颗粒大，粒状，条状。黄铁矿被后期构造裂隙切割，石英分布具有定向性。

Ⅱ-2 金矿物呈枝杈状分布于黄铁矿中,0.01-0.06mm。

Ⅱ-3 金矿物与黄铜矿共生，分布于黄铁矿中。4粒金0.01-0.06mm。

Ⅱ-4 金矿物与黄铜矿共生，分布于黄铁矿中。金0.04mm，黄铜矿0.02mm。

Ⅱ-5 金矿物与黄铜矿共生，分布于黄铁矿裂隙中。金0.01-0.05mm。

Ⅱ-6 方铅矿分布在黄铁矿中。

Ⅱ-7 金矿物呈粒状，分布于黄铁矿中。金0.04mm。

Ⅱ-8 金矿物呈条状，分布于黄铁矿裂隙石英脉中。金0.03mm。

Ⅱ-9 金矿物呈长条状，分布于黄铁矿裂隙中。金 **0.07mm**。

Ⅱ-10 褐铁矿（蓝灰色）交代黄铁矿，残留黄铁矿核。

Ⅱ-11 灰色褐铁矿、黄铁矿裂隙含金。金 **0.02-0.04mm**。

Ⅱ-12 褐铁矿（蓝灰色）交代黄铁矿的交代边构造。

Ⅱ-13 褐铁矿（蓝灰色）交代黄铁矿的交代边构造。黄铁矿残余少。

Ⅱ-14 石英中的金粒。金 **0.01mm**。

Ⅱ-15 黄铁矿，黄铜矿晚期穿插黄铁矿

Ⅱ-16 辉铜矿（灰色，解理发育）、黄铜矿、黄铁矿

Ⅱ-17 黄铁矿局部被褐铁矿交代，褐铁矿晶形较好，六边形、五边形、四边形，麻点状分布于黄铁矿中。

Ⅱ-18 黄铁矿、褐铁矿、黄铜矿集中分布

Ⅱ-19 细粒黄铁矿零星不均匀分布，晶形立方体、不规则体。无铜。

Ⅱ-20 黄铁矿（黄白色）被磁铁矿交代。

Ⅱ-21 以褐铁矿为主，局部残留黄铁矿，温度升高，不规则状。

Ⅱ-22 石英脉中无金属矿物。黄铁矿变为褐铁矿，呈星点状分布。

Ⅱ-23 方解石脉和硅质脉。黄铜矿、黄铁矿和褐铁矿分布

Ⅱ-24 主体褐铁矿，脉中含黄铁矿。硅质脉早期，

Ⅱ-25 脉中含零星黄铁矿，硅质脉和钙质脉。

Ⅱ-26 黄铁矿、黄铜矿与褐铁矿

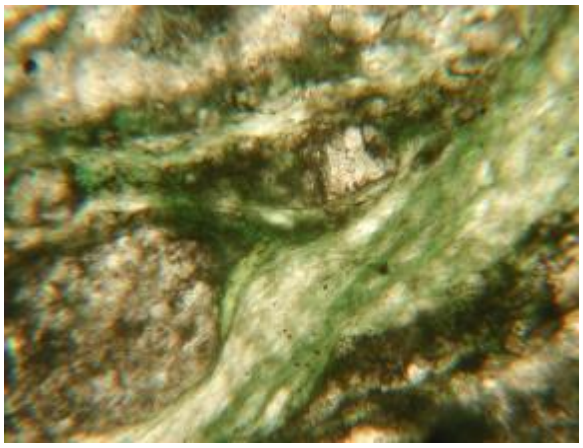
Ⅱ-27 碳酸盐化，硅质脉中含黄铜矿

Ⅱ-28 脉中黄铜矿、黄铁矿，边缘为褐铁矿

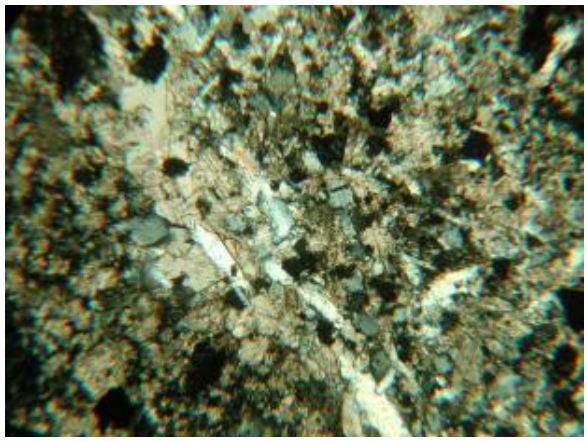
Ⅱ-29 脉的围岩中大量褐铁矿，有赤铁矿化现象

Ⅱ-30 硅化，围岩主体为褐铁矿，零星黄铁矿，黄铜矿散布，被脉体穿插

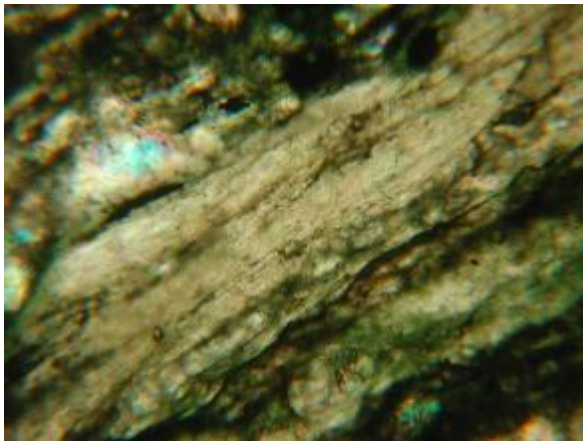
图版 I——薄片图版



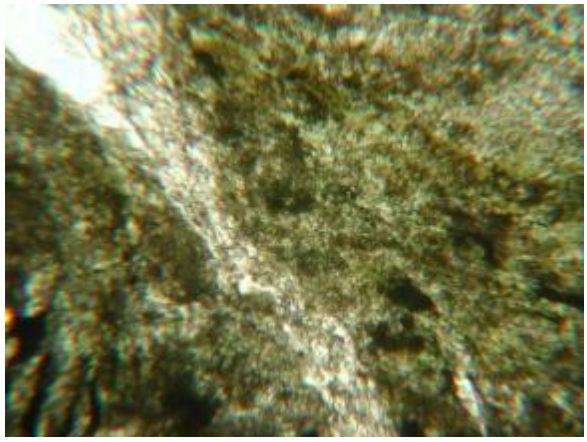
I-1



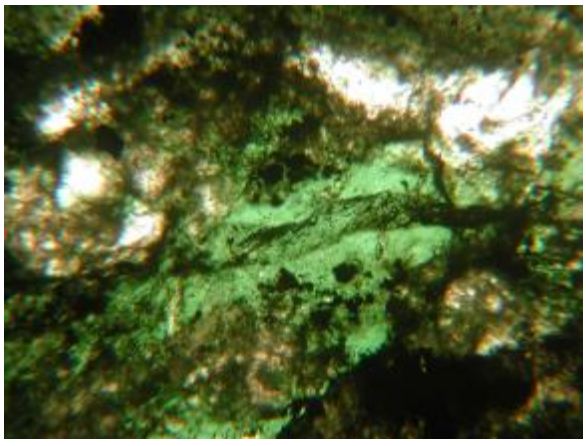
I-4



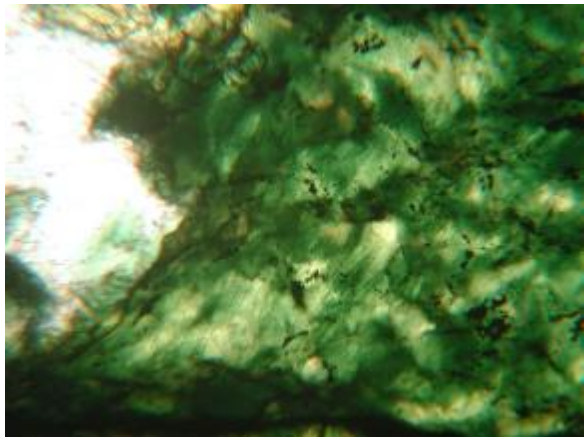
I-2



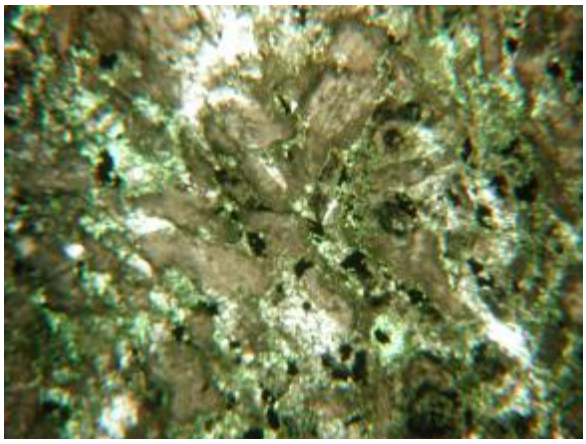
I-5



I-3



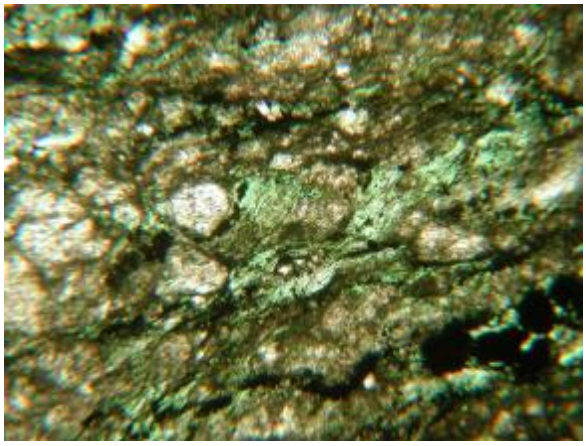
I-6



I-7



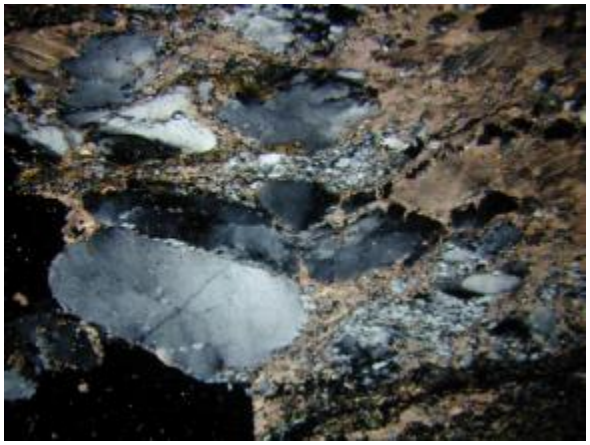
I-10



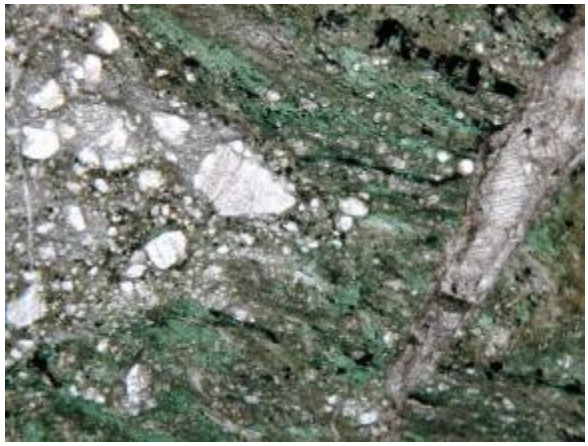
I-8



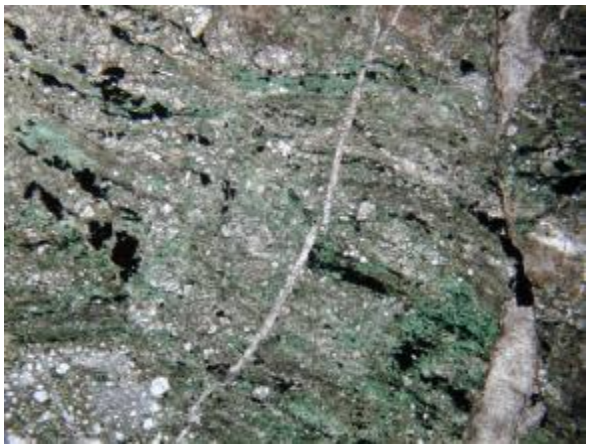
I-11



I-9



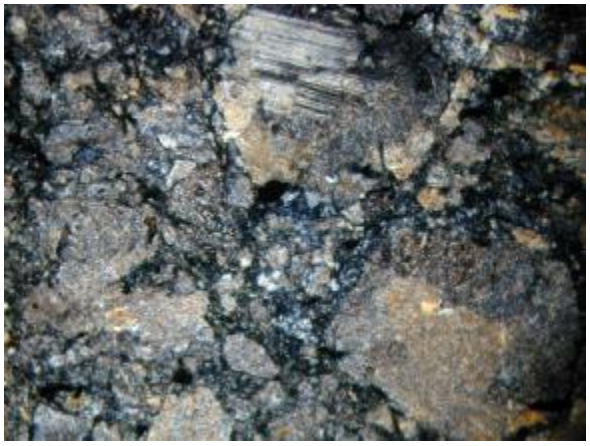
I-12



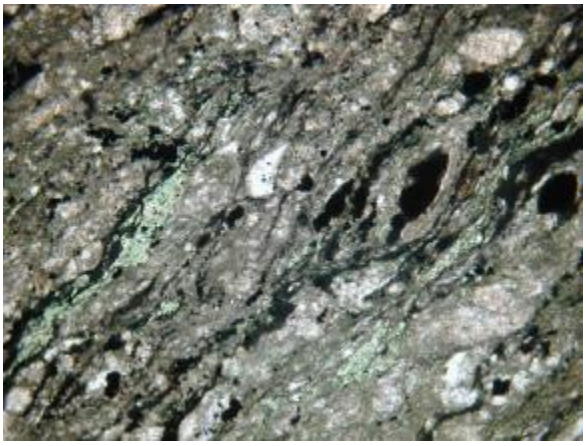
I-13



I-16



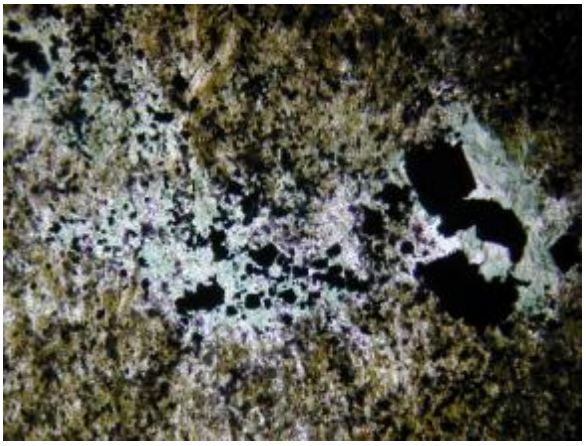
I-14



I-17



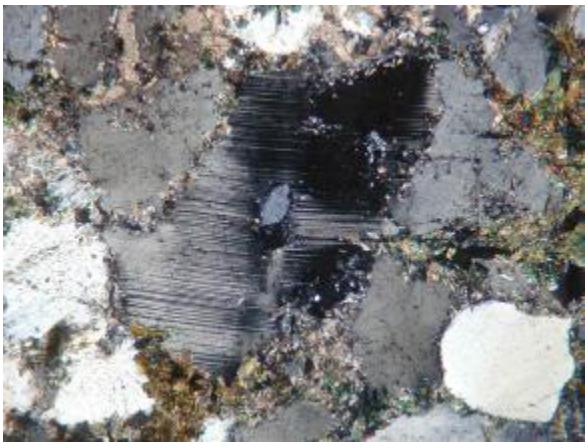
I-15



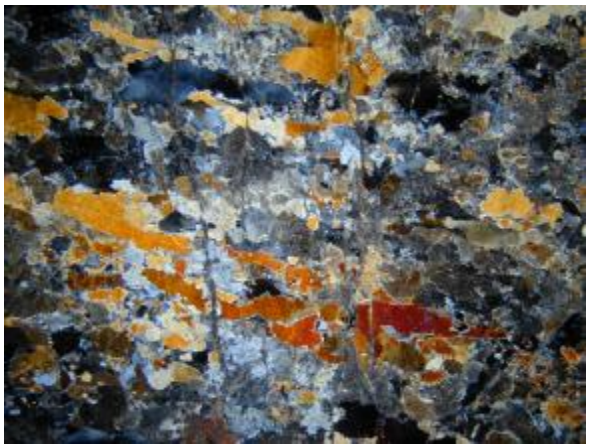
I-18



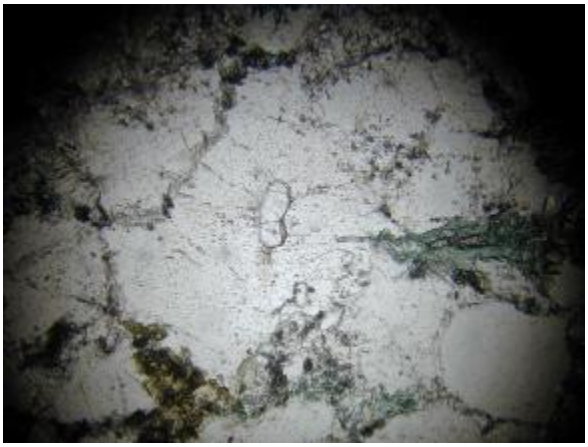
I-19



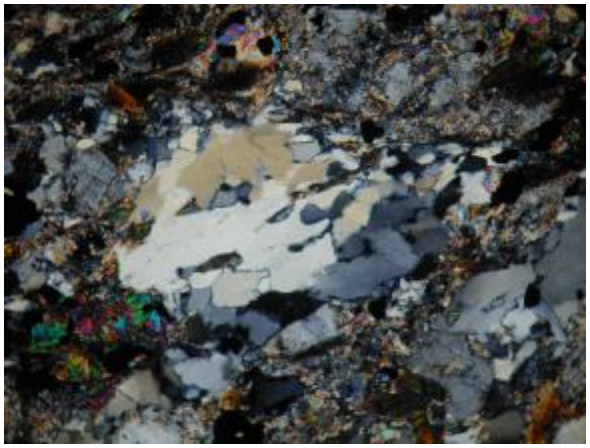
I-22



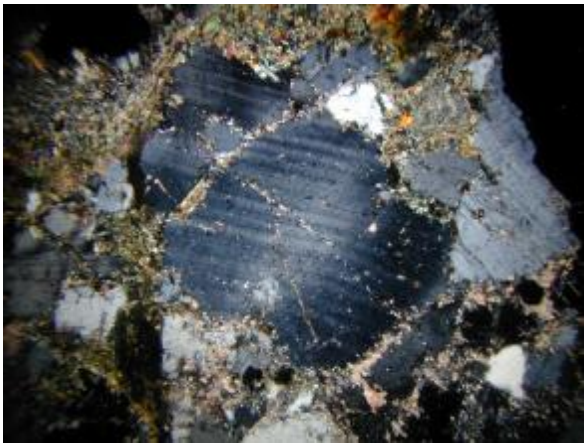
I-20



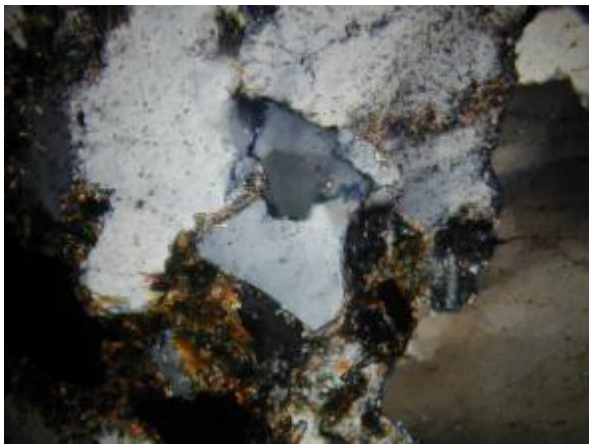
I-23



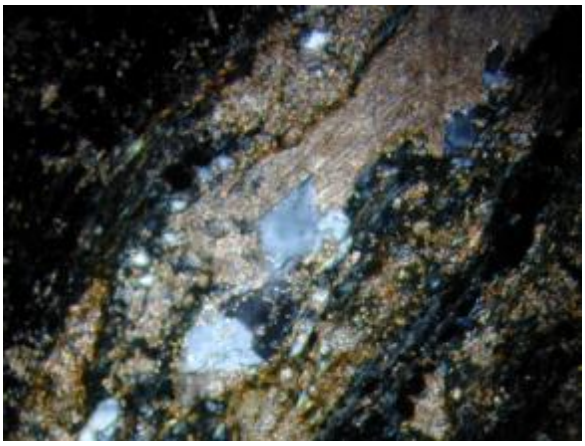
I-21



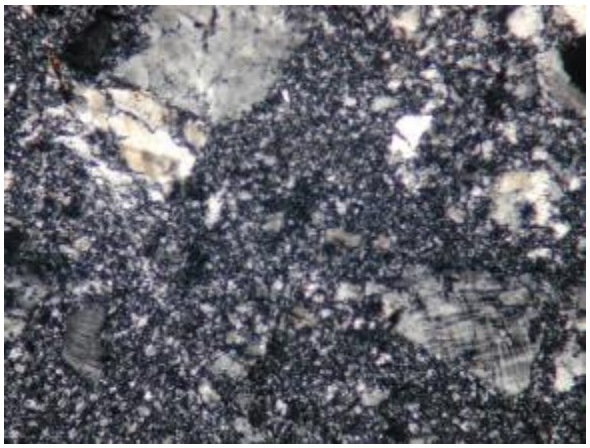
I-24



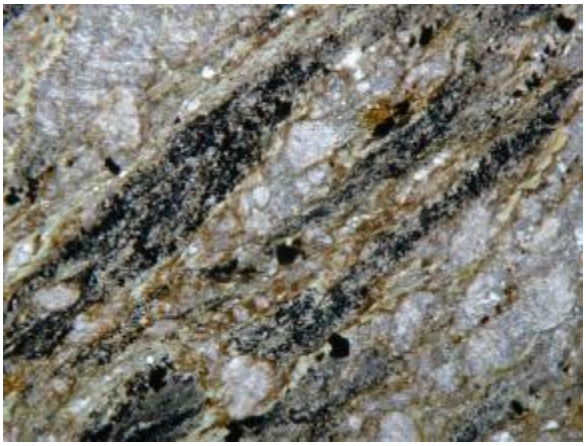
I-25



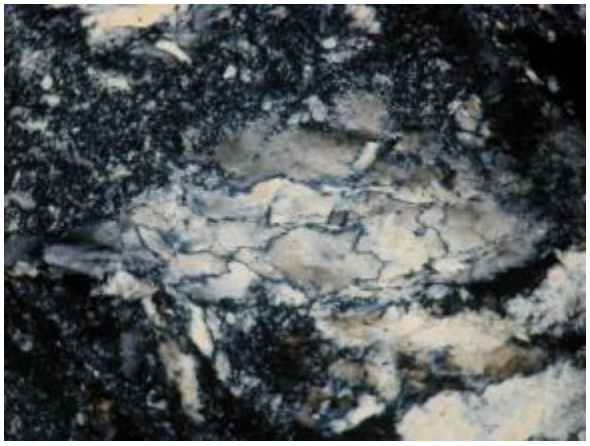
I-28



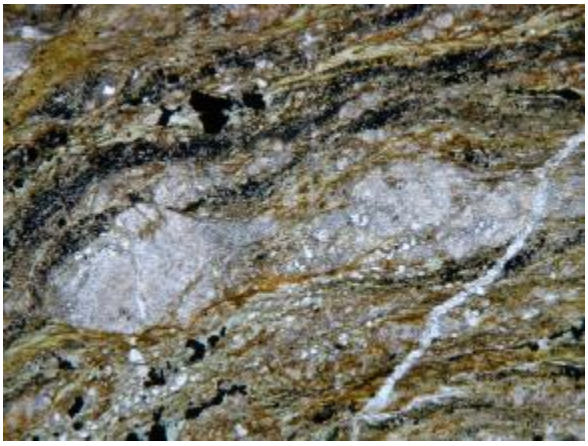
I-26



I-29

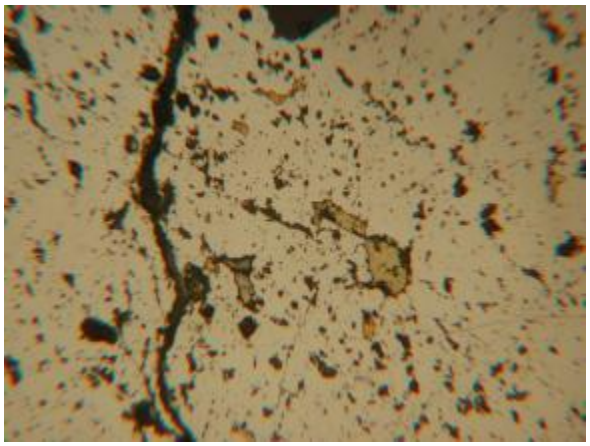


I-27

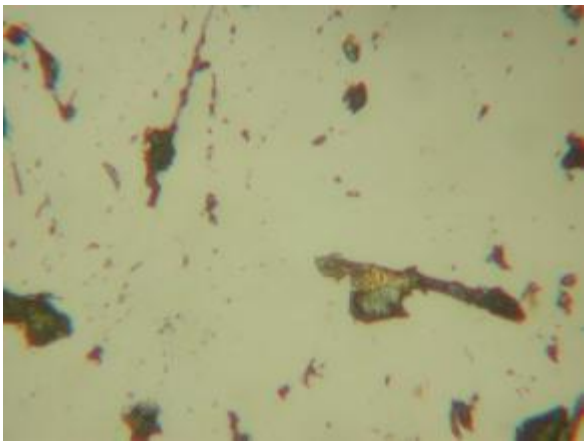


I-30

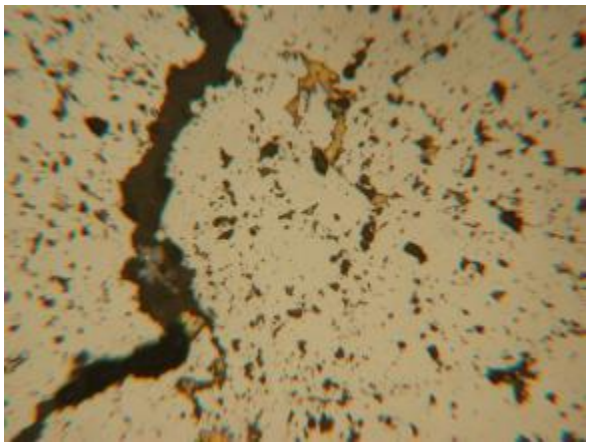
图板Ⅱ 光片部分



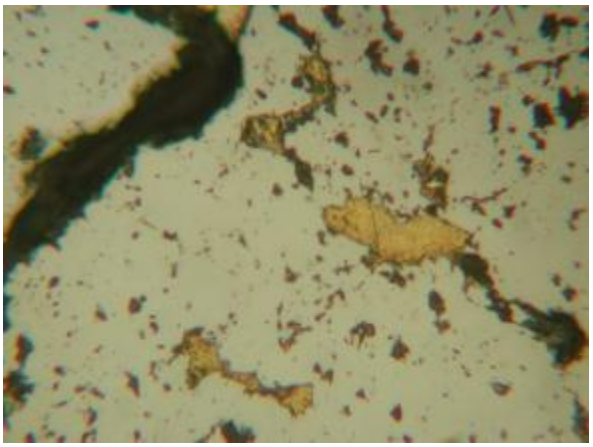
Ⅱ-1



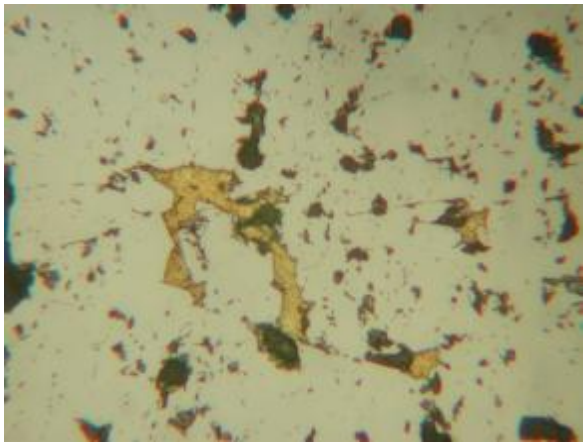
Ⅱ-4



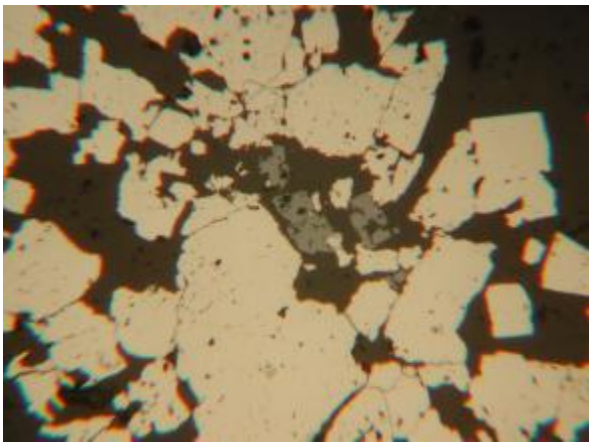
Ⅱ-2



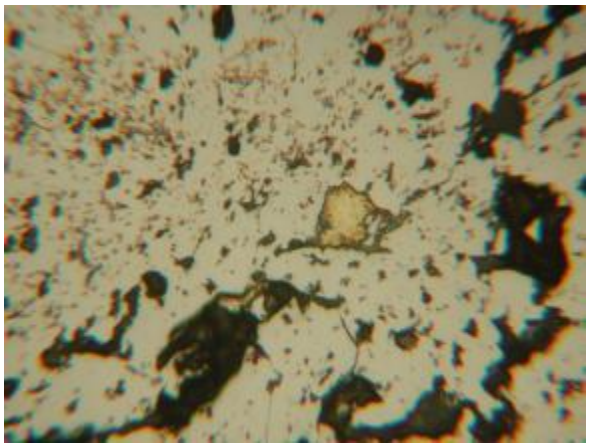
Ⅱ-5



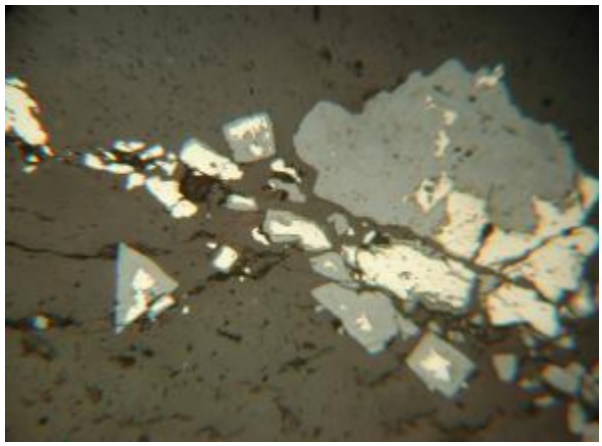
Ⅱ-3



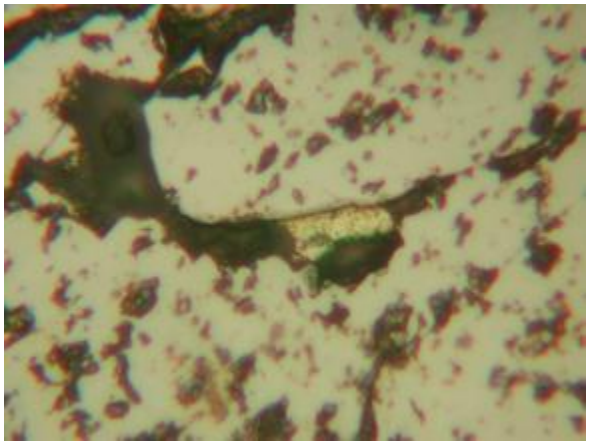
Ⅱ-6



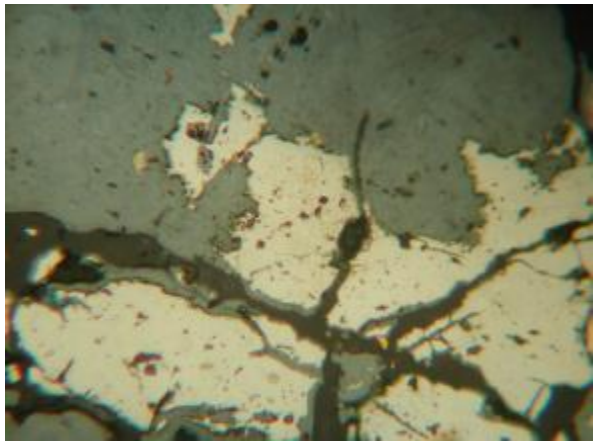
Ⅱ-7



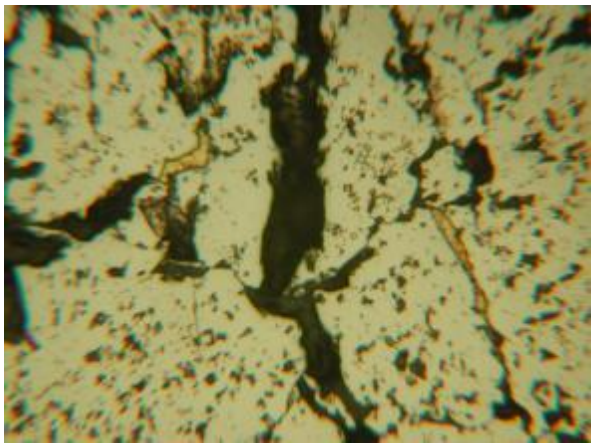
Ⅱ-10



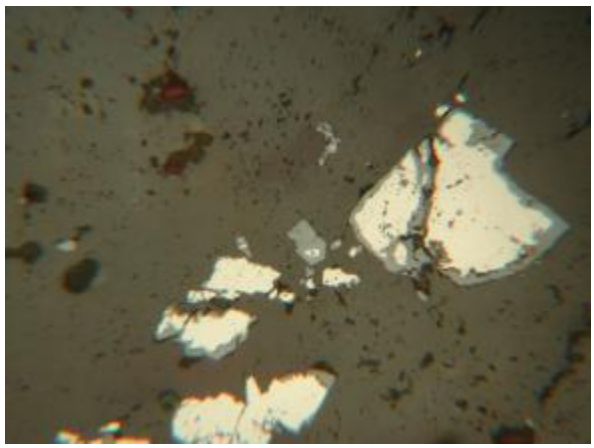
Ⅱ-8



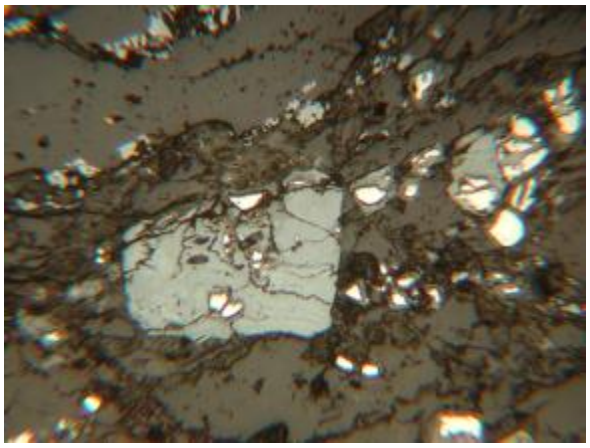
Ⅱ-11



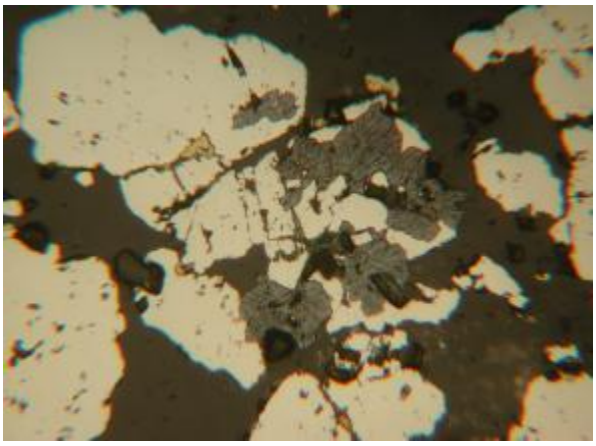
Ⅱ-9



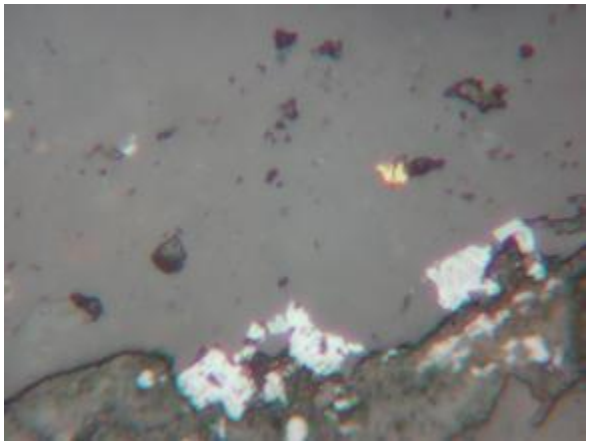
Ⅱ-12



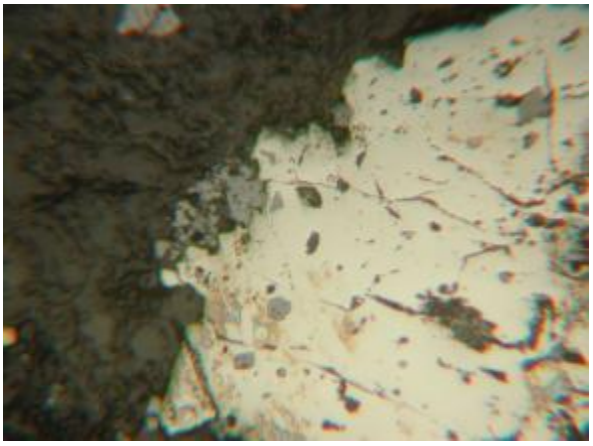
Ⅱ-13



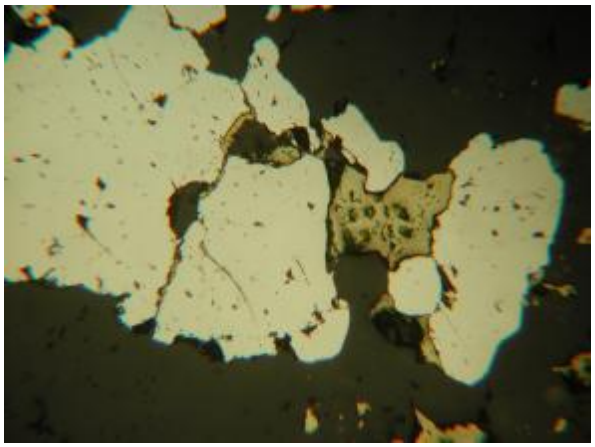
Ⅱ-16



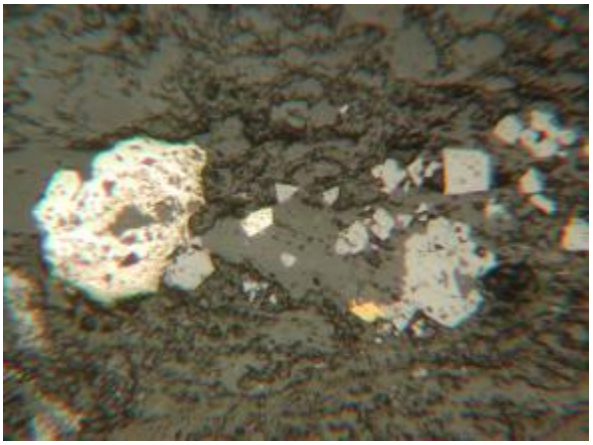
Ⅱ-14



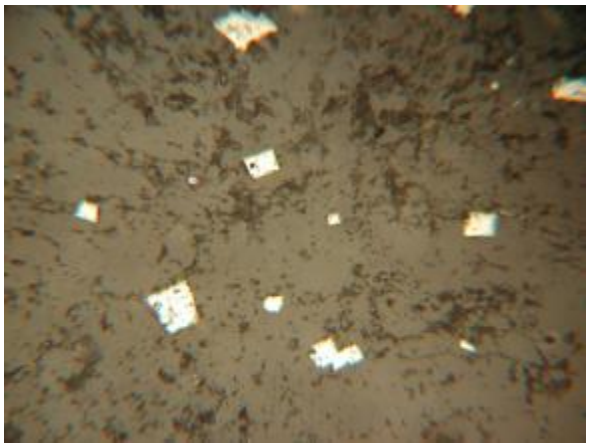
Ⅱ-17



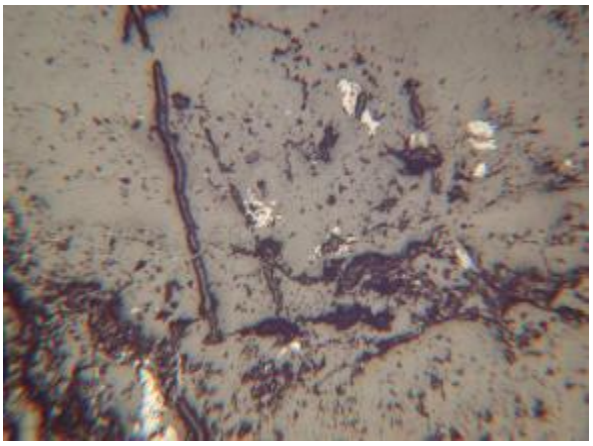
Ⅱ-15



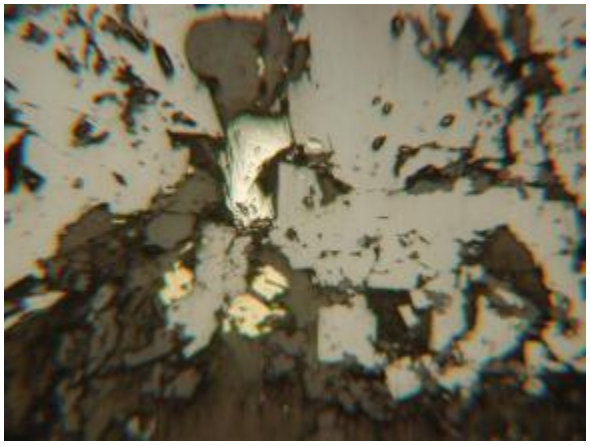
Ⅱ-18



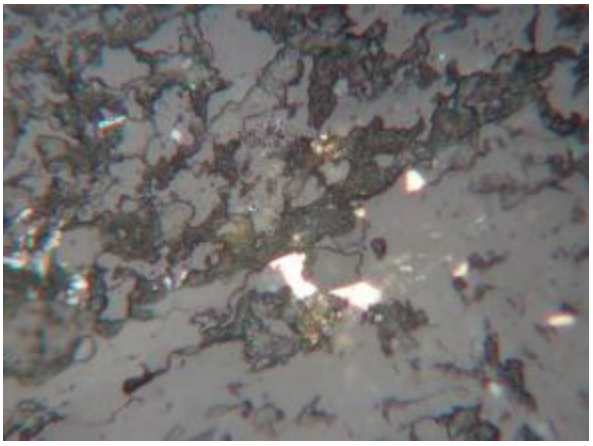
Ⅱ-19



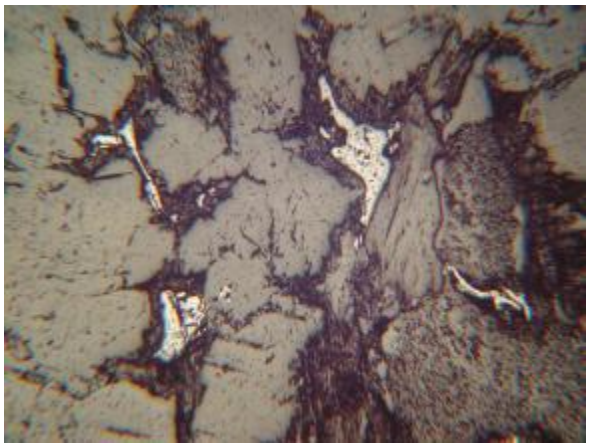
Ⅱ-22



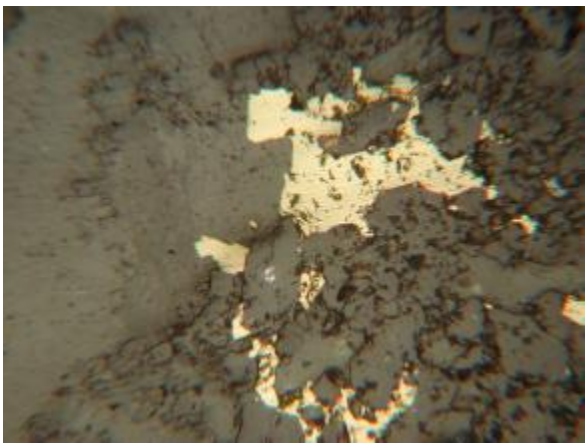
Ⅱ-20



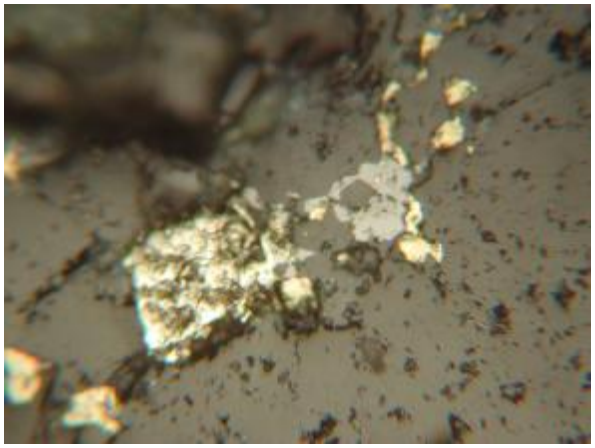
Ⅱ-23



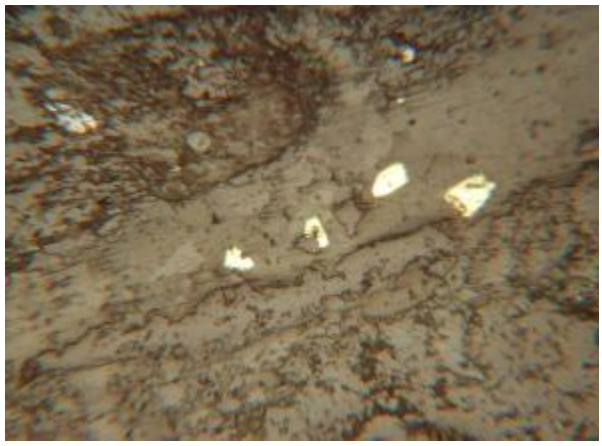
Ⅱ-21



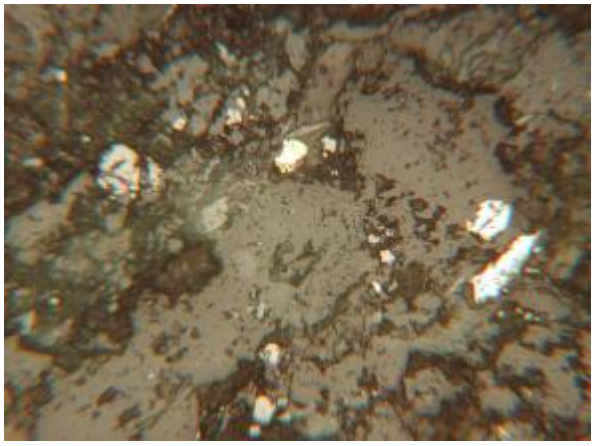
Ⅱ-24



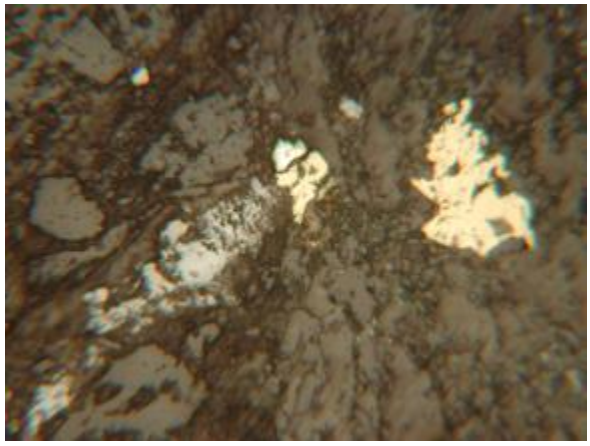
II-25



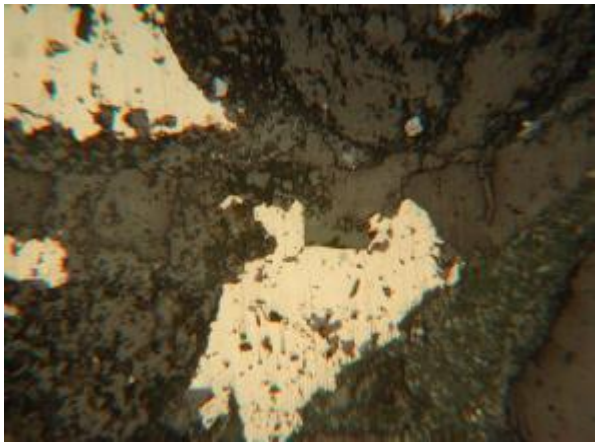
II-28



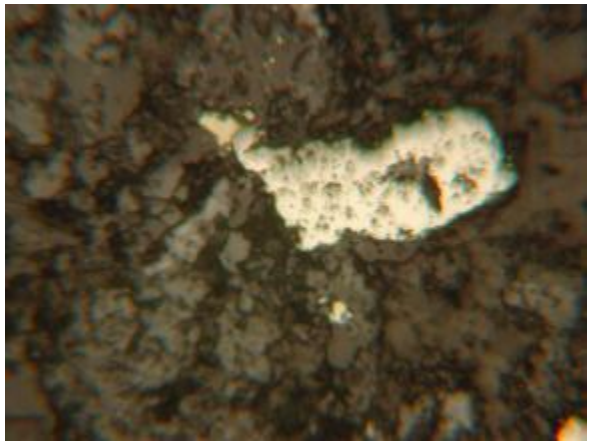
II-26



II-29



II-27



II-30