

长安大学
硕士学位论文
东桐峪金矿构造控矿规律研究
姓名：付伟
申请学位级别：硕士
专业：构造地质学
指导教师：李侠;张学仁
2001. 5. 1

摘 要

东桐峪金矿床位于小秦岭西段山前断裂与巡马道断裂之间的大月坪—老鸦岔复式背斜北翼靠近枢纽的转折端处,受构造控制明显。

文章通过对东桐峪金矿区矿脉与地层、岩浆岩、构造等控矿因素之间相互关系的研究,阐明了断裂构造作为本矿区主要控矿因素的观点;结合大量的野外调研工作,分别对区域构造、矿田构造及矿床构造进行了详细研究,从而对矿区各含金石英脉及断裂构造带的力学性质、演化特征、控矿机理等有了较为详细的认识 and 了解。查明了矿区有利的成矿部位,并绘制出了矿区主要矿脉的力学性质图,表明了东西向断裂构造为矿区的主要控矿构造,其次为北东向;总结并发现了东西向含脉构造带平行等间距排列,相邻含脉构造带间距约为 250 米的规律。

基于室内大量样品结果的处理和分析,绘制了主要矿脉中金属量的集中分布趋势图,并通过对其进行复合叠加处理,绘制出了矿区金属量集中分布的综合趋势图,由此而发现了东桐峪金矿区金属量在空间上沿北西方向集中分布的规律。另外还绘制了矿区主要含金石英脉 Q8、Q12 沿纵深方向金属量的分布图,通过对其分析发现, Q8 中矿体由上到下等间距分布并向南西侧伏, Q12 的中上部为其主要赋矿位置,这一规律对于后续的找矿工作具有重要的指导意义。

最后,根据总结出的构造控矿规律,从事实和理论两方面论证了矿区南西部位具有较为乐观的找矿前景,预测了矿区主要矿脉深部找矿的位置并指出了后序找矿工作中应注意的事项。

关键词:东桐峪 小秦岭金矿 断裂构造 石英脉 矿体 控矿规律

Abstract

Dongtongyu gold ore deposit located at the north limb and near the hinge of the Dayueping-Laoyacha multiple anticline, which sited between the Shanqian fault and Xunmadao fault in the west of Xiaoqinling. It is obvious that the gold ore deposit was controlled by the structure.

In this paper, the view was put forward that faulted structure is the main factor of controlling the Dongtongyu gold deposit by means of the interrelation studying to the ore veins with strata, magnetite and tectonics. Through the considerable work in the field, the area structure, ore field structure and ore deposit structure were studied very carefully, and then the paper gave a detailed recognition with the mechanic nature, evolution features and control mechanism of the auriferous quartz veins and faulted structure belts. The good position of ore-forming was find out, the mechanics diagram of the ore area was drawn out, which indicated that the main ore-control structure in Dongtongyu gold field is faulted structures of the west-east direction, in the next place is north-east direction. It was found that the tectonic belts of containing veins sited in west-east direction were parallel ranged in about 250 meters from one to next.

On the bases of the processing and analysing with a great deal of samples, the trend diagram of metallometric distribution in ore veins was drawn out and then by means of complex processing to the synthetic trend diagram of metallometric distribution in ore areas, obtained the law that the metallometric distribution of Dongtongyu gold deposit in space was in direction of north-west. Moreover, the vertical metallometric distribution diagram of Q8 and Q12 gold veins were drawn out too, and from which the result was gotten that ore bodies in Q8 gold vein spreaded with same interval from top to bottom and declined towards south-west, however, through the analysis of the synthetic trend diagram, the ore bodies mainly spreaded in the middle part of Q12. This law is very important to the exploring work in future.

At last, according to the distribution laws of the ore controlled by structure, the paper through the facts and theoretics demonstrated the optimistic prospecting in the west-south area of Dongtongyu gold deposit, forecasted the possibility position of ore bodies in deeper of the main ore-veins, and something should be careful in future exploring work were given, too.

Keywords: Dongtongyu; gold ore deposit of Dongtongyu; faulted structure; quarter vein; ore-body; laws of ore controlling.

前 言

东桐峪金矿是陕西省内大型黄金企业之一。自其成立至今，已持续生产了三十多年，为陕西的黄金事业做出了巨大的贡献。但是，随着多年的开采，原探明的储量已开采殆尽，矿山正面临着严重的资源危机，因此如何尽快地寻找出新的资源补给矿山生产是矿山目前的当务之急。

自六十年代末小秦岭地区发现金矿以来，随着找金热的迅速兴起，大量的科研院所及生产单位也相继在此展开了以指导找矿为目的的科研工作。经过“七五”和“八五”期间的科研攻关，小秦岭地区的区域成矿理论得到了进一步的完善，科研资料得到了极大的丰富。并已基本确定构造为小秦岭地区金矿的主要控矿因素。

由于东桐峪金矿床属于以构造为主要控矿因素的石英脉型金矿床，因此，如能研究寻找出本矿区内的构造控矿规律，进而用以指导找矿工作，那么无疑将会使探矿工作取得事半功倍的效果。

目前，关于构造控矿的理论主要有：构造体系控岩控矿论、板块构造成矿论、断块构造成矿论、低洼活化成矿论和波浪镶嵌控矿论等。构造控矿，尤其是构造控金的研究工作正处于方兴未艾的阶段，因此在东桐峪金矿开展构造控矿的研究工作不仅具有充分的理论根据，而且具有一定的现实意义。

小秦岭区域范围内前期的科研成果不仅对于研究某个具体的矿床或矿脉具有很高的参考价值，而且也为后续的科研及找矿工作奠定了良好的基础。另外笔者曾在秦岭地区从事过三年的矿山地质工作，并在研究生学习期间跟随导师参加过多项科研项目，具备了较强的实践和科研能力。本次研究工作中，笔者在借鉴前人研究资料的基础上，多次赴矿山进行调研，在野外重点观察了构造的空间分布特征及其对含金石英脉的控制规律，收集了大量有关本矿区构造控矿的资料，并对大量的样品数据进行了科学的处理和分析，同时，在理论研究方面首次结合波浪镶嵌控矿论，大胆创新，从构造学、力学、运动学等几个方面系统的分析了东桐峪金矿矿区内各大含脉构造带的空间分布特征及其空间分布规律，对含金石英脉中金属量的集中部位及其空间分布趋势进行了详细研究，较为具体地指出了目前找寻深部矿体的最佳位置和以后的找矿方向。

本文主要是把科研与生产相结合，最终以服务于矿山生产为目的而编写的。由于作者的理论水平和实践经验有限，加之时间仓促，文中的缺点和不足之处在所难免，敬请阅者批评指正。

第一章 概 述

潼关县作为陕西的产金大县，其黄金产量目前已跃居全国第三位，黄金采选业已成为潼关县财政税收的主要来源，区内大、中、小型矿山星罗棋布。其中国营矿山有：中国黄金总公司东桐峪金矿、中国黄金总公司文峪金矿（河南）、中国人民解放军七三九部队所属秦河金矿等。地方国营矿山有潼关县李家金矿、小口金矿、太峪金矿、马口金矿等。此外，乡镇办的矿山采金点达 24 家之多。这些矿山企业的建立和发展不仅促进了本区黄金产业的发展，同时也带动了当地其它相关行业的发展，对潼关地区经济的繁荣和发展起到了极大地推动作用。

东桐峪金矿作为潼关县乃至陕西省内生产规模最大的黄金企业之一，其发展历史较长，无论是对国家还是地方的黄金事业都做出了突出的贡献。为了保证其持续不断的发展，国家及省市黄金主管部门对东桐峪金矿都极为重视，曾先后为其投入了大量的科研工作，以便使其能为陕西及国家的黄金事业做出更为突出的成绩。本文所研究之内容即为东桐峪金矿众多科研项目之一的一小部分。

第一节 位置与地理概况

一 位置交通

研究区在行政区划上隶属于陕西省潼关县桐峪镇（原李家乡）管辖，位于陇海铁路线南侧的桐峪（图 1-1）地区。桐峪地区属浅山地带，其南北长约 1800 米，东西宽 1400——600 米，面积约为 1.88 平方公里。地理座标为东径 $110^{\circ} 20' 42'' \sim 110^{\circ} 21' 31''$ ，北纬 $34^{\circ} 26' 53'' \sim 34^{\circ} 25' 59''$ 。研究区北至桐峪口 5 公里，由桐峪口北西距陇海线太要火车站（陕西）8 公里，北东距陇海线予灵火车站（河南）7.5 公里，北距郑（州）潼（关）公路（310 国道）11 公里，均有公路联通。由太要火车站西至孟塬车站 21 公里，至渭南车站 82 公里，至西安车站 144 公里，东至郑州 367 公里，由孟塬车站向北至太原 528 公里，有铁路贯通，矿区交通极为方便。

二 自然地理

矿区位于小秦岭的北坡，海拔 1054.00——1826.42 米，地形陡峭，切割深度 772.42 米，属中等切割程度的中山地形。桐峪矿区主山脊走向为南北向，支山脊呈北东或东西走向，坡度 $30^{\circ} \sim 60^{\circ}$ 。区内主水系为桐峪河，属常流水，由南向北纵贯矿区，其年平均流量为 135.20 升/秒。最小流量为 24.30 升/秒，最大洪水流量为 1511 升/秒，可满足矿山工业用水的需求。

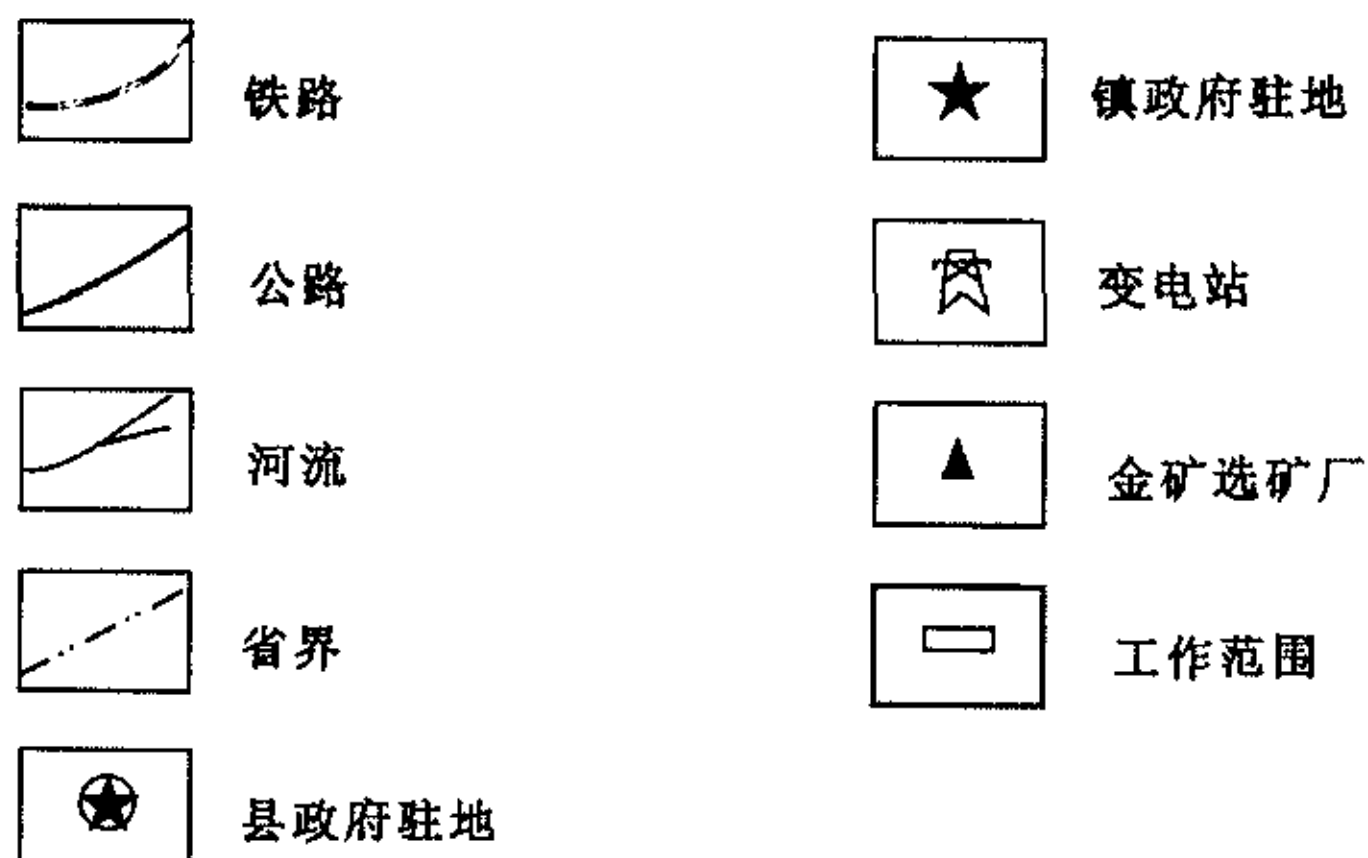
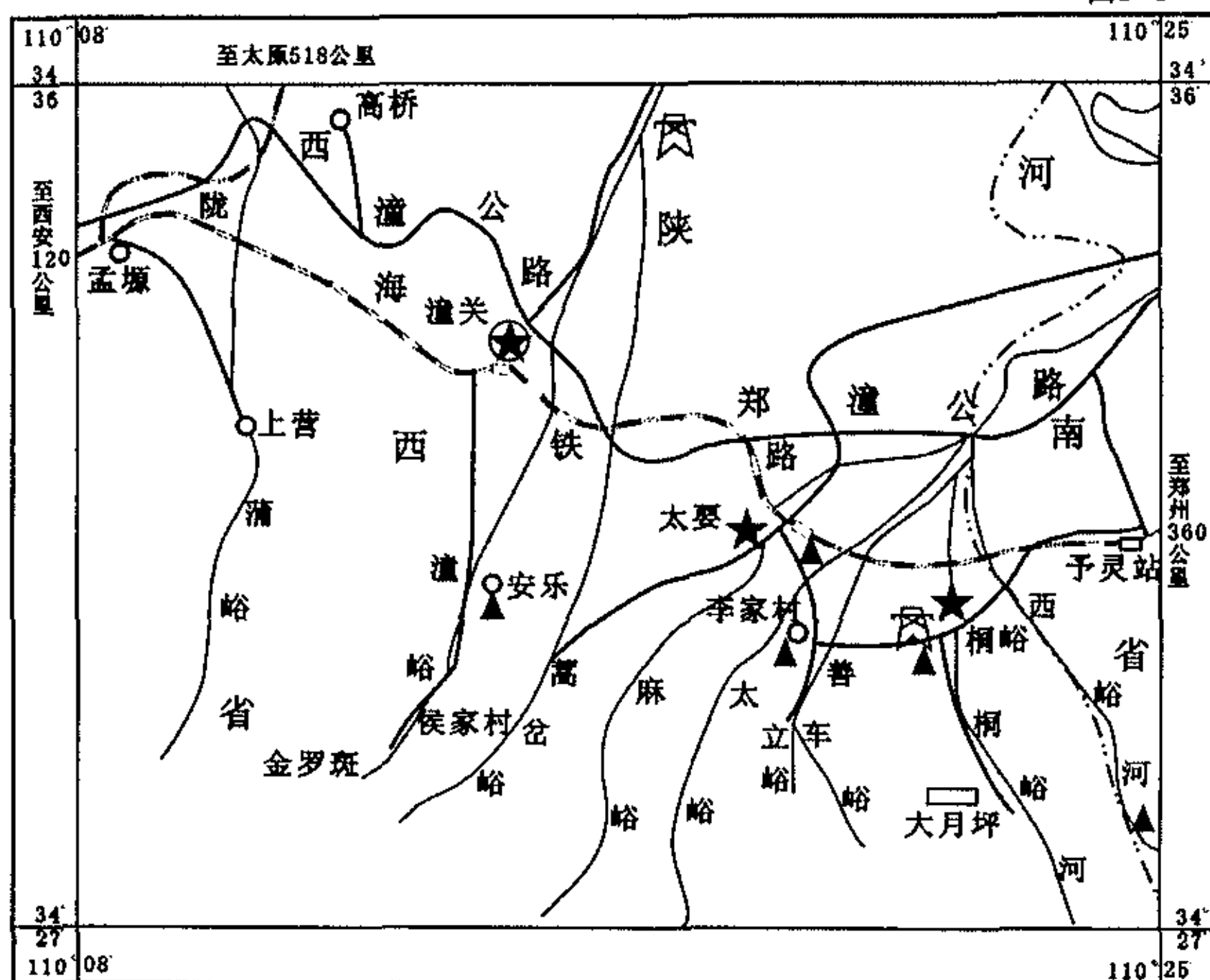
研究区气候四季分明，属华北季风暖湿带半湿润和微湿润气候区，雨量充沛，利于植

物生长。浅山区无林木，深山区梢林繁茂，可提供矿山所需的工业用材。

交通位置图

1: 250000

图1-1



第二节 研究历史

东桐峪金矿位于秦岭东部的小秦岭地区，而整个小秦岭作为秦巴褶皱造山活动带的一部分，从地层、构造、岩浆活动等方面分析，其均为成矿的有利部位。因此，在研究东桐峪金矿的构造控矿规律之前，有必要先对小秦岭地区的金矿地质研究历史做一个比

较全面的认识和了解。

据调查,小秦岭金矿的发现与开采历史较为悠久。从有记载的史料来看,始于战国时期,在明朝年间已开始大规模的开采。而对于秦岭地区的地质研究工作,最早始于19世纪60年代,至今也不过130多年的历史。最早在秦岭地区开展地质调查与研究工作的以西方学者为代表,如德国人李希霍芬(F. V. Richthofen, 1866)、奥地利人洛采和匈牙利人斯戒义(L. Loczy&Szechenyi, 1877—1800)等。李希霍芬首先将秦岭北部的变质地层称为“秦岭片岩”,将其划归为太古界。国内学者对秦岭的研究,当首推李捷与朱森(1928)在武当山和大巴山区对前震旦系“武当片岩”和有确切化石依据的志留系的确定。此后,吕翥声(1938)、张伯声(1939—1940, 1943, 1945)、曹士禄和韩影山(1940)、卢衍豪(1943)、杨敬之和谷德振(1945)、黄懿(1948)等,均在南秦岭—北大巴山地区进行过路线地质或局部地区的岩相研究,其中尤以张伯声首次对“汉南杂岩”时代的重新厘定最有意义。1959年,张伯声在主持编制《陕西省地质图(1:50万)》的过程中,发现了华北、华南两大地壳块体以秦岭构造带为支点带在地质历史时期不断地进行着“天平式运动”,并指出天平式运动形式在大地构造演化中具有普遍意义;1962年和1964年,他通过对陕西水系、尤其是对秦岭两侧水系发育状况的分析,指出秦岭在新构造运动时期的块断构造具有一侧翘起、另一侧俯倾的“半地堑——半地垒”式的地块波浪性质。1962年,他在论述“镶嵌的地壳”时,还特别提及了秦岭地槽褶皱带是由很多长条状楔形断块按一定格式镶嵌起来的。以上这些观点可以被看作是地壳波浪装镶嵌构造学说的发端。此外,赵亚曾与黄汲清在秦岭地区的研究也倍受人关注。当然在秦岭地区开展研究工作的学者远不止以上所列举的。

以上所列举的均为偏重于基础地质理论方面的研究工作,而对于金矿的研究工作主要是在1964年开始的。1964年在小秦岭地区重新发现金矿以来,在长达35年的时间内,先后有十余个地勘单位,二十余个矿山、科研、教学部门在该地区开展以地质找矿、金矿开发为中心的地质、科研工作,积累了丰富的地质资料。其中,东桐峪金矿因为是小秦岭地区发现得较早的矿带之一,其研究程度也较其它矿山高。特别是河南第一地质调查队、陕西地质六队、二队、武警黄金九支队等对该矿区金矿脉的发现、评价及开发所做的贡献尤为突出。其后,随着小秦岭地区金矿脉的不断发现和增加、矿区范围的扩大,地矿部于“七五”期间及时的投入了大量资金和科研力量,实施了“秦巴地区重大基础地质问题和主要矿产成矿规律研究”的重点攻关项目;“八五”规划期间,“小秦岭金矿地质和成矿预测”又成为国家重点黄金科技攻关项目的下设课题。这些研究工作,对东桐峪金矿的成矿条件和矿体成因的研究起到了极大的促进作用,同时也极大的丰富了该矿的基础研究资料,为后续的研究工作打下了坚实的基础。

第三节 矿山现状及选题意义

因受科技及其它条件的限制,前期的大量研究工作主要偏重于浅部矿脉的研究及开发,而对隐伏矿体的研究较少,特别是对较深部位的研究程度较低。然而,随着矿山生产规模的扩大和时间的推移,早期探明的地表矿和浅部矿已开采殆尽。因此,如何预

测隐伏矿脉，尤其是预测深部矿脉，寻找到新的资源，补给矿山生产，以解决矿山目前所面临的资源危机，不仅已成为矿山生产部门所面临的一大难题，而且也是找矿勘探及科研所要解决的关键问题。

由于本区的金矿床受到构造活动的严格控制，因此，结合并运用现有资料，从研究构造控矿规律出发，进而预测中深部盲矿体便成为本文研究的主要目标及选题的意义所在。本选题的现实依据为：东桐峪金矿在长期的生产过程中，曾先后在横向上发现了两条隐伏含金石英脉，这一略带偶然性的发现，不仅激发了矿山生产部门及矿山地质工作者继续在本区寻找隐伏矿脉的热情，同时，也为科研工作者在本区寻找深部矿体增添了信心和现实依据。

本文选题的理论依据为，隐伏矿床预测是当今地质学研究的一个重要前缘课题，并且日益受到重视。多年来地球科学家从不同角度出發，做了大量深入细致的研究工作，提出了诸如模型理论与方法、构造控岩控矿理论与构造学方法、地球化学理论与方法、物理学方法、数学地质和岩石矿物学方法与理论等，并成功地预测和发现了一些隐伏矿床。实际上，构造对成矿的控制作用与贡献较早就引起了构造地质学家的关注，如 White 于 1901 年就提出了背斜构造对石油圈闭的控制作用；李四光 1921 年在论述新华夏构造时就指出其沉降带（地向斜）内有重要经济价值的矿床（油气藏）。

目前，构造控矿理论主要有，构造体系控岩控矿论、板块构造成矿论、断块构造成矿论、地洼活化成矿论和波浪镶嵌控矿论等。构造地质学家已注意到不同级别和规模的构造对矿带、矿田、矿床和矿体的分级控制作用，注意到构造活动对成岩和成矿物质相互转化的贡献，并提出了构造成岩成矿理论，以及成矿构造的概念和研究方法。对褶皱、断裂、伸展等构造的控矿特征进行了系统研究，提出了诸如“S”与反“S”构造、“Φ”字型、“K”字型构造、韧性挤压带和反转构造等新的控矿构造形式，研究了断层分带与成矿分带的关系。同时，还通过构造解析、构造应力场和应变场分析、模拟实验等方法研究矿床（体）与构造的时空配置关系，建立起新的构造控矿模型，并根据构造分布规律预测新的成矿靶区和有利成矿部位。其中，刘如琦等（1987）通过构造解析，在辽宁本溪预测并发现了储量较大的铁矿床。蔡新平等（1994）根据褶皱构造控矿规律在金厂峪金矿床深部预测并发现了 10 吨黄金工业储量。

另外，波浪镶嵌理论曾在过去的找矿实践中发挥了重要的作用。尽管其理论的发展在目前进展较为缓慢，但作为一个已被公认和接受的且已发挥了重要作用的理论，其发展潜力并未得到应有的挖掘，尤其是在找矿勘探应用中的潜力远未得到应有的挖掘。笔者认为，只要地质工作者对波浪镶嵌理论进行深入细致的研究，同时使其与野外实践及新技术新方法相结合，那么波浪镶嵌理论必将在以后的找矿实践活动中发挥出应有的作用，取得突破性进展。

综上所述，构造控矿成矿理论的研究工作方兴未艾，并已初见成效，本文选题正是鉴于以上原因，以期通过在东桐峪矿区开展深入细致的室内和野外研究工作，总结出该矿区的构造控矿规律，并以此规律预测和寻找隐伏的盲矿体、指导矿山的生产和实践。

第二章 区域地质

根据张伯声教授“波浪状镶嵌构造”的理论观点，地壳波浪运动是普遍存在的。整个地壳的构造格局表现为有规律的排列着两个以上地壳波浪系统的构造带，它们的互相交织形成了一个复杂的一级套一级的波浪镶嵌构造网。

各种矿床的形成和展布都离不开一定的沉积地层、岩相、岩浆活动、构造运动或变质作用等复合地质因素的影响。而地壳的波浪运动及镶嵌构造网格在同成矿作用有关的各种地质因素中可以认为是首要的和决定性的因素。所以认真研究地壳波浪运动特征，对探索成矿规律与指导找矿具有重要意义。

第一节 地质构造背景

一 大地构造单元及环境演化

小秦岭地区概指兰田——落南——卢氏一线洛河水系以北的秦岭山区。小秦岭金矿田所处大地构造位置为：天山——秦岭——大别山波峰带（ Cm_4 ）与大兴安岭——龙门

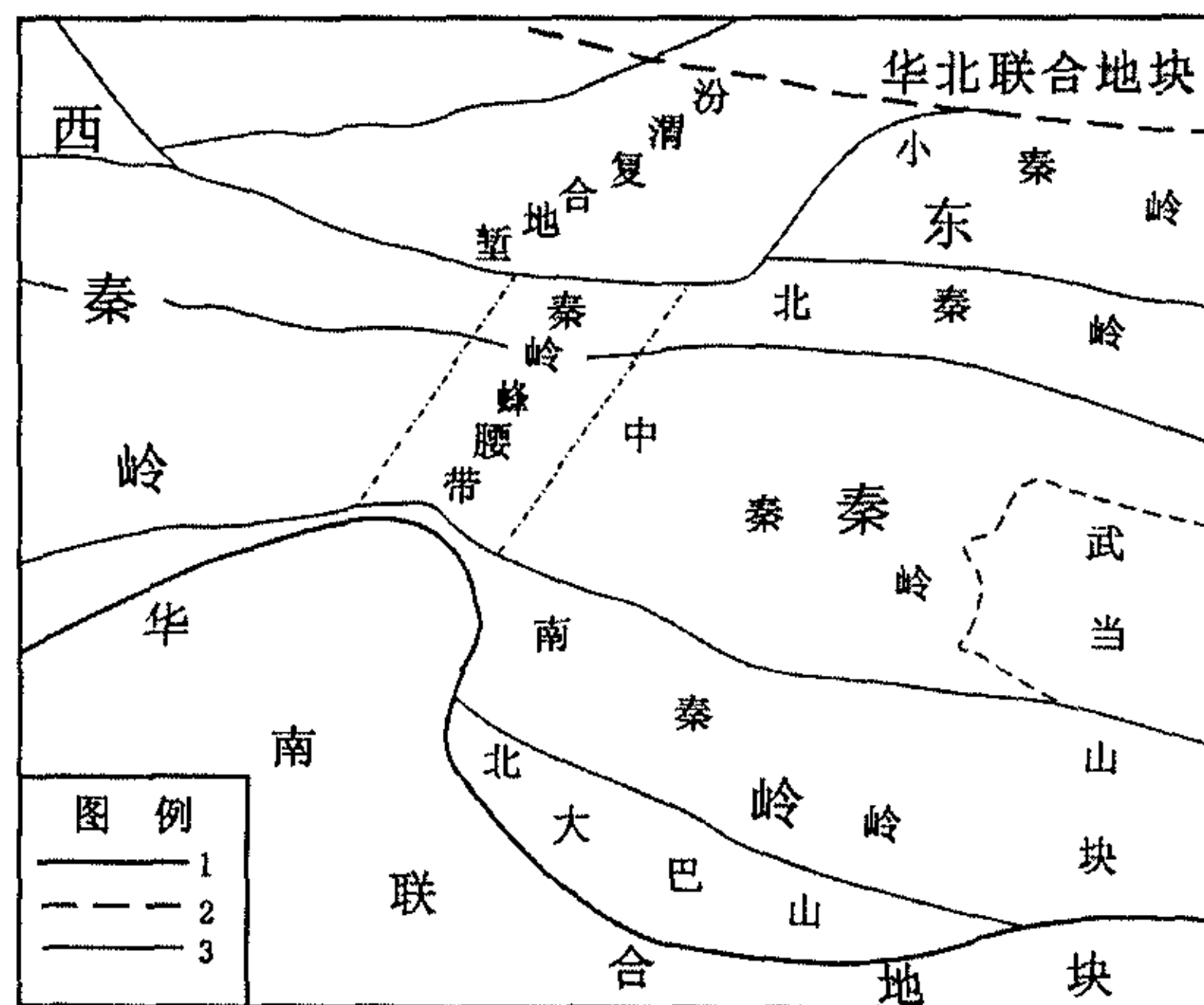


图 2-1 秦岭构造分区示意图（据王战）

1. 2 秦岭构造带界线（断裂及隐伏断裂） 3 次级构造带及山块界线（断裂及大致界线）

山波峰带(Cp₄)交汇部位,具体位于晚元古——早古生早加里东褶皱带的崤华地背斜区(Cm₄^aCp₄^a)。从区域大范围上划分,在横向上,小秦岭位于秦岭构造带最北部的小秦岭带;在纵向上,小秦岭位于秦岭构造带的东段(图 2-1)。这是一个构造极为复杂的地区,它从太古宙起,便因其大地构造位置处于华南与华北地壳作天平式摆动的支点带上(甚至可能是位于南、北两个半球性壳块作驻波式运动的波节带上)而具有很强的构造活动性;此后,它交替地受到环太和特提斯两个系统地壳波浪的多次冲击,叠加了多次构造运动的印记,因而本构造区岩层的变质程度普遍较高,一些地段出现混合岩化、花岗岩化乃至岩浆化。花岗岩化多数发生于太古宇及古、中元古界发育地段,岩浆化多发生于这些地段的中部以及早前寒武系分布地带同其南部的古扬子壳块相互强烈挤压的部位。花岗岩化和岩浆化主要发生于中生代的印支运动时期。喜马拉雅运动以来主要是张、压作用相间而造成的半地垒——半地堑式地块波浪。渭河地堑南缘同秦岭主脉北侧仅在新生代的差异升降即达 10000 米以上,迄今为至新构造运动仍很强烈。

二 区域构造格架

根据秦岭地块波浪镶嵌构造格局的划分,小秦岭金矿田位于秦岭东段以北洛南晚元古代到早古生代加里东褶皱山块,因其受北东——南西向外太平洋构造带与古地中海构造带叠加控制,因而其区域构造较为复杂,具有多期活动的特点,其中近东西向褶皱和矿田南北两条走向东西的区域性深大断裂构成了该区主构造格架。近南北、北东、北西向构造亦较发育。

太古界太华群组成的大月坪——金罗斑复式背斜横贯全区,轴向 100°~280°,长 85 千米,两翼倾角北缓(30°~50°)南陡(60°~80°),复背斜分为变形强度不等的东

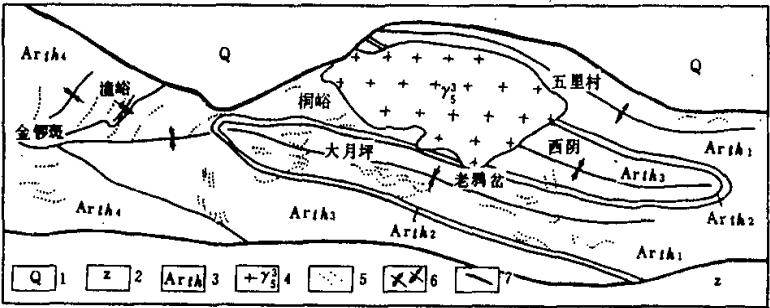


图 2-2 小秦岭金矿田地质构造略图 (据胡正国改编)

1 第四系; 2 震旦系; 3 太华群; 4 花岗岩; 5 含金石英脉; 6 背(向)形轴; 7 断裂

西两段;东段为紧闭的两支背形夹一个向形;西段归并为一支背形,在近华山花岗岩体附近倾伏(倾伏角 30°)掩盖。复背斜的变形面系区域第二期轴面片麻理(图 2-2)。该复式背斜对区域成矿带的形成有着极为重要的控制作用。

山前断裂（亦称太要断裂）位于矿田北侧，呈近东西向带状展布于大夫峪——秦仓口——太要——泉家峪——大湖——武家山一线，总长约 100 千米。据在石母峪等处的观察，早期具韧性变形特征，宽度约 1 千米，因该断裂被晚期脆性变形所破坏，沿走向韧性变形带出露不连续。构造岩石以角闪岩相糜棱岩及构造片麻岩为主。断裂面倾向北——北西，倾角 $65^{\circ} \sim 88^{\circ}$ 。根据运动学标志判定为左行逆冲断层，后期具右行平移特征。中期叠加有呈带状分散间隔产出的绿片岩相脆韧性剪切带。带中岩石以千糜岩为主，其中心部分往往有石英脉及伟晶岩脉等分布。具体变形特征表现为粘性石香肠化，其中矿物呈蠕虫状或条纹状定向排列。脆韧性剪切带中尚可见呈不规则状灌入并已发生片理

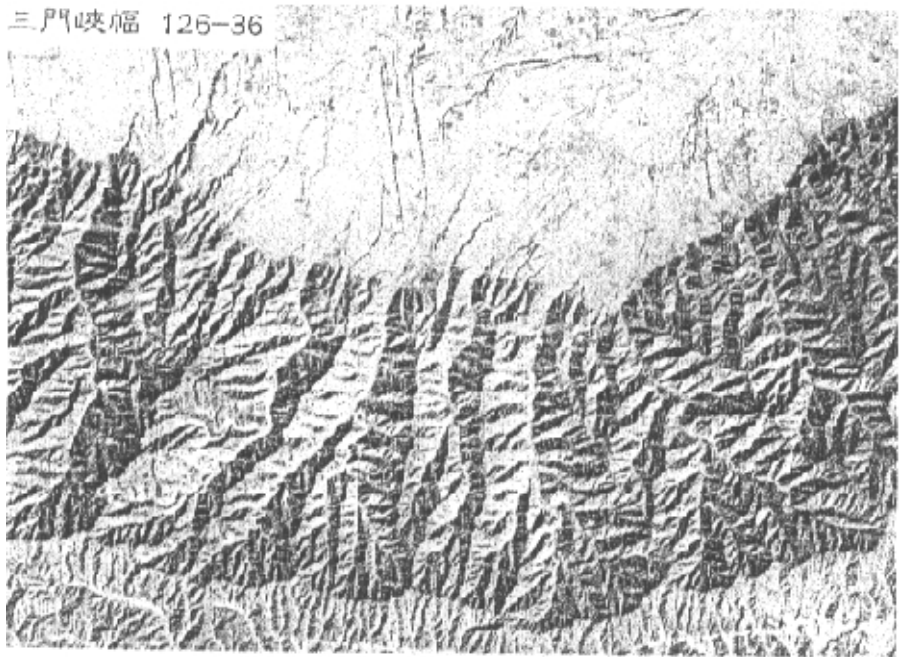


图 2-3 桐峪及其周围地区 TM 专题图片

化的辉绿岩脉。晚期脆性变形特征表现明显，遥感影像上（图 2-3）显示宽窄不一的带状影纹，发育一系列断层三角面、断层崖、陡坎状地貌等。断层三角面以北倾为主，倾角 $65^{\circ} \sim 80^{\circ}$ 。北盘下降，略具左行平称特征，具多级断裂带和断阶。垂直差异升降幅度在第四纪时达到 2000 米。断裂带内出露数十至百余米宽的断层破碎带，发育轴面外倾的倒伏褶皱。断面向下变缓呈铲形。据物探资料推测其下延深度达 25 千米左右。

巡马道断裂（亦称小河断裂）位于矿田南侧，断在太古界太华群与中元古界长城系地层之间。该断裂呈近东西向出露于巡马道—小河—周家山一带，总长近 100 千米，断裂面南倾，倾角为 $55^{\circ} \sim 80^{\circ}$ 。该断裂经历了早、中、晚期不同性质的变形。早期的韧

性变形切过小秦岭复背斜南翼，形成了宽达 5 千米以上（指出露部分）的角闪岩相糜棱岩带，并有同构造期伟晶岩在变形强烈部位发育。糜棱岩带倾向北，倾角 $70^{\circ} \sim 80^{\circ}$ 。根据大量运动学标志判定，其总体具左行逆冲特征，局部有后期右行平移特征表现。韧性剪切带偏北与脆性断裂紧邻，中期的脆韧性改造叠加明显，总体表现为绿片岩相的千糜岩化，并有同构造期的多种岩脉分布，但脆韧性断裂发育的规模已比韧性剪切带的规模大大减小。晚期脆性变形特征表现比较明显，但不及北侧山前断裂连续性好，在驾鹿一带呈平行侧列延展，呈三——五级断带和断阶形式出现，以正向滑移为主，略具左行平移特征，南盘下落后形成 30——50 米高的断层三角面，下降幅度约 500 米，垂直差异运动幅度在第四纪时可达 1000 多米，发育数十至数百米宽的破碎带。

南北两条区域性深大断裂经历了长期复杂的从韧性——→脆韧性——→脆性的变形过程，且其变形活动至今仍在进行，它们共同控制了整个小秦岭金矿田东西成矿带的发展及演化。并在其中具有金矿化或直接赋存有金矿体，如在河南境内山前断裂中就有金矿体赋存。

除以上主要褶皱和断裂构造外，次级不同规模、不同方向和不同力学性质的褶皱、断裂以及含金脆、韧性剪切带对本区矿床（矿脉）或大规模矿化富集段的形成亦具有控制作用，在此不再赘述。

三 构造变形演化简史

通过对桐峪地区太华群变形资料分析，可以将小秦岭地区构造变形过程大致分为以下几个时期：

1. 第一期变形（ D_1 ）太华群形成 NW—SE 向背斜（ F_1 ）（同斜、倒转、平卧），变质程度达到麻粒岩相，时间为太古宙末，主要显示特提斯构造波系的影响。同时伴随有早期混合岩化过程。

2. 第二期变形（ D_2 ）形成的褶皱（ F_2 ）表现为塑性流变期，普遍发育有片内无根褶皱、勾状弯曲等，相当于叠加在太华群之上的同斜紧闭褶皱。变质程度可达角闪岩相，伴以中期混合岩化作用。变形时期为早元古代末期。

3. 第三期变形（ D_3 ）在太华群变形中难以辨认。一般发育在中、上元古界，形成近东西向 M 型或 S 型褶皱，后者轴面通常向北陡倾。有时似乎伴随有小规模推覆构造，变形时期为晋宁运动。

4. 第四期变形（ D_4 ）形成的褶皱（ F_4 ）以大月坪背形构造为其典型。背形枢纽产状 $289^{\circ} \angle 30^{\circ}$ ，伴随着退变质作用（的角闪岩相）和晚期混合岩化作用。这一时期是以特提斯构造波系的活动为主的变形期，其时代为加里东期。

5. 第五期变形（ D_5 ）为平卧褶皱变形，同时发育有小规模推覆构造。常以缓倾斜折劈理发育为特征，仍是近 NWW 向特提斯构造波系为主的变形。推测为海西—印支期构造运动的产物。

6. 第六期变形（ D_6 ），相当于太华群中第四期变形（NE 向宽缓直立小褶皱）。在洛华公路—黑山一带的元古宇及下古生界，常发育 NE 向宽缓褶皱的“雏形”，也与其相当。早期常伴随脆性变形，晚期韧性断裂带在太华群中较为发育。变形时期为燕山期，此时

期是该区环太平洋构造波系强烈活动时期。

7. 第七期变形 (D_7) 是以大规模块段翘倾活动为其主要特征, 而脆性变形使燕山期韧性断裂带重新活动。

第二节 地 层

研究区出露地层主要为上太古界太华群深度变质片麻岩系, 北邻渭河断陷盆地, 第四系大面积分布, 其次在南部出露有中元古界高山河组碎屑沉积, 超覆于太华群之上。太华群为一套中深变质岩系, 总体呈北西西——近东西走向, 构成向西倾伏的金罗斑——大月坪复式背形。混合岩化作用较强烈。根据原岩类型及接触关系, 前人对该区地层做了大量工作, 各家对地层划分的主要方案如表 2-1 所示。

笔者根据野外实习及资料收集整理情况采用陕西省地质六队 1982 年的分法。即将太华群分为上、中、下三个段。上太华群段由洞沟组、三关庙组、秦仓口组组成; 中下太华群段由板石山组、大月坪组构成。

太华群地层由老至新分别简介如下:

1. 大月坪组 (Arthd)

该组位于复背形轴部, 以黑云 (角闪) 斜长片麻岩为主, 夹斜长角闪岩。下部偶夹砂线石榴黑云斜长片麻岩和石英岩薄层或透镜体。本组混合岩化作用最强, 条带状混合岩、条痕状混合片麻岩及伟晶状混合花岗岩广泛出露。

2. 板石山组 (Arthb)

该组位于复背形轴部的两侧, 以黑云 (角闪) 斜长片麻岩、斜长角闪岩为主。顶、底部分部有中—厚层石英岩或长石石英岩, 中部见有蛭石化黑云斜长片麻岩、石墨斜长片麻岩及大理岩透镜体, 另有少量砂线石片状石英岩。混合岩化作用较强, 且有部分条带状混合岩, 条痕状混合片麻岩以及混合花岗岩分布。该组与下伏大月组为不整合接触 (陶铁镛, 1986)。

3. 洞沟组 (Arthdg)

该组主要分布在复背形两翼, 在河南境内主要分布于枪马峪——杨砦峪——樊家岔峪一带南段、枣乡峪的七树坪、灵湖——荆山峪一带北段及娘娘山花岗岩体东侧黄天墓地段。在陕西境内主要分布于东桐峪北段、善车峪南段和太峪——蒿岔峪——潼峪一带。可分为上、下两个岩性段。下段以黑云 (角闪) 斜长片麻岩与斜长角闪岩互层为特征, 夹层多为透镜状或豆荚状磁铁石英岩。混合岩化作用较弱, 仅见少量条带状混合岩; 上段主要为黑云 (角闪) 斜长片麻岩夹斜长角闪岩和较多浅粒岩、变粒岩。中下部夹有多层磁铁石英岩薄层或透镜体, 沿走 (倾) 向常相变为磁铁角闪质岩石。局部地段 (如桐峪) 见有麻粒岩产出。本段混合岩化作用较强, 有较多伟晶状花岗岩、条痕状混合片麻岩及条带状混合岩产出, 与板石山组呈整合接触。

4. 三关庙组 (Arths)

该组主要分布于复背形西部转折端, 陕西境内分布于潼峪西侧和蒲峪一带, 河南境内未见出露。其岩石类型主要为浅粒岩、黑云母变粒岩、黑云斜长片麻岩、黑云角闪 (或

角闪黑云)斜长片麻岩组成,夹有少量角闪变粒岩和斜长角闪岩透镜体。黑云斜长片麻岩多具条带状构造,且揉皱小构造比较发育。该组下部黑云斜长片麻岩与浅粒岩、黑云变粒岩呈互层状产出,其体积比约为1:2,黑云角闪斜长片麻岩含量明显高于上部,斜长角闪岩透镜体出露较多,上部则以浅粒岩和变粒岩为主,黑云斜长片麻岩和黑云角闪斜长片麻岩次之,常呈现出10—20米厚的夹层出现。浅粒岩,变粒岩与黑云角闪斜长片麻岩之体积比在5:1—10:1之间。斜长角闪岩偶见,呈小透镜体产出。该组原岩为长英质火山岩夹少量镁铁质火山岩和沉积岩,与洞沟组呈整合接触。

5. 秦仓口组 (Arthq)

该组分布在华山东侧的锁峪、秦峪,北侧的瓮峪和南侧的华阳川一带,岩石类型主要为黑云斜长片麻岩、黑云变粒岩、浅粒岩,次为黑云角闪斜长片麻岩和硅线石、石榴石片麻岩。黑云角闪斜长片麻岩与浅灰白色黑云斜长片麻岩,浅粒岩呈互层状或夹层分布。黑云斜长片麻岩和黑云角闪斜长片麻岩具有发育的揉皱小构造。该组原岩为一套以长英质火山岩和火山碎屑岩为主,夹少量泥质岩的长英质火山——沉积建造,以其底部的角闪斜长片麻岩与下伏的三关庙组浅粒岩分界,与三关庙组呈整合接触。

据吴文奎等研究认为,桐峪地区太华群的构造叠加变形至少可分为四期。太古宙末受强烈的南北向挤压形成平卧背斜,主背斜转折端在桐峪口一带,以普遍发育片内无根褶皱为特征, S_1 强烈置换了原始层理 S_0 ,并伴随麻粒岩相变质作用和钠质混合岩化作用,表现为沿片麻理 S_1 出现肠状白色长英质条带;早元古宙早期,早期主褶皱再度弯曲而形成一系列同斜紧闭褶皱及片内无根、勾状褶皱,伴随变形的混合岩化作用主要生成沿片理、片麻理的含钾长英质条带,变质作用达铁铝榴石角闪岩相;加里东期发生第三次变形的表现是形成大月坪背形,它是对第二期变形面——片麻理 S_2 的大规模改造, S_2 强烈置换了 S_0 和 S_1 ,该期背形核部混合岩化强烈,以条痕状、角砾状混合岩为主,局部形成混合花岗岩,退变质作用出现低角闪岩相或高绿片岩相的矿物共生组合;燕山运动

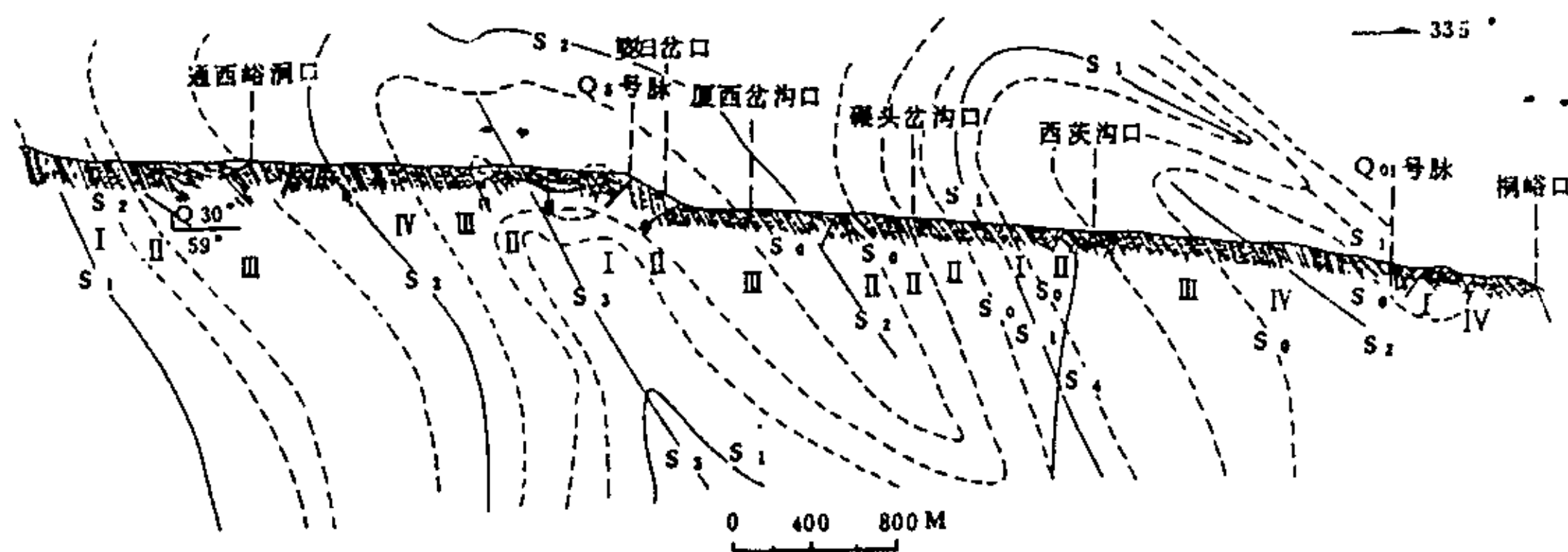


图 2-4 桐峪剖面略图 (据吴文奎, 1993)

时期,褶皱变形表现为局部的宽缓直立对称褶皱的生成和韧性断裂构造的产生。在三维空间上,韧性断裂带的展布以斜向为主,正向极少,无论在平面上还是剖面上均呈舒缓波状,显微构造也显示出断裂的波浪状变化特征,变质作用退变为低绿片岩相。喜山期,脆性断裂大量生成,并使燕山期产生的韧性断层重新活动而使其复杂化。上述多期变形的基本构造形态如图 2-4 所示,正是由于太华群地层经受了多期构造活动的叠加改造,才使得太华群地层最终成为了有利的含矿地层。

第三节 岩浆岩

小秦岭地区自太古代发生大规模中基性岩浆喷发,构成太华群中的基性岩建造之后,岩浆活动仍然比较频繁。其中花岗岩类具有多期活动成因的特点,以燕山期花岗岩浆活动最为强烈。燕山期花岗岩浆活动与本地区金成矿密切相关。黎世美根据岩浆岩的岩性,变质变形特点,侵入穿插关系,同位素年龄等,将本区岩浆活动分为阜平、五台——中岳、熊耳、加里东、华里西——印支和燕山旋回(表 2-2)。

1. 阜平旋回花岗质岩主要包括 TTG 岩系和钾质花岗岩。按其侵入层位和空间分布特征,可将 TTG 岩系分为早、晚两期,早期侵入大月坪组,主要分布于小秦岭复背斜核部金罗斑——大月坪——老鸦岔——金碛岔——樊家岔一带;晚期侵入洞沟组,主要分布于小秦岭复背斜翼部板石山——观音堂——温河峪一线以北,东桐峪大泥沟口——杨砦峪大平沟口——木厂峪火石崖一线以南及其东、西侧。它与洞沟组分面积比约为 1:5 左右。

2. 中岳——五台旋回主要形成桂家峪和石母峪等黑云母化角闪二长花岗岩体和分布广泛的伟晶状花岗岩。桂家峪岩体出露面积约为 13 平方公里,侵入于大月坪、板石山、洞沟组及三关庙组,呈岩株状产出;伟晶状花岗岩在小秦岭地区广泛分布,呈不规则脉状和大小不等的团块状产出,构成第二期混合岩化岩石和混合岩的脉体。岩石呈伟晶和粗晶块状,主要组成矿物为微斜长石,斜长石和石英,含少量黑云母。

3. 熊耳旋回形成的花岗岩主要为小河黑云母二长花岗岩体,分布于小河边界韧性剪切带南侧,呈东西向带状分布的岩株产出,出露长度大于 25 公里,宽度 3—6 公里,侵入于太华群,与官道口群高山河组呈沉积接触。

4. 加里东旋回形成的岩体主要分布于文峪、金碛岔、杨紫峪等地,岩石类型为辉长辉绿岩。

5. 华里西——印支旋回形成的文峪、娘娘山、老牛山和华山黑云母二长花岗岩体程岩基状产出,侵入于太华群等地层中,主要岩石类型为正长斑岩和辉绿(玢)岩。本期形成的各岩体均为多期多单元组成的复式岩体,未被上述各旋回产出的岩浆岩穿插,但本期形成的基性脉岩,如辉长辉绿岩、辉绿玢岩、正长斑岩等均可穿切上述除花岗岩、伟晶岩、云煌岩以外的其它地质体。

6. 燕山旋回主要形成文峪、娘娘山、华山、老牛山花岗岩体,其次形成广泛分布的花岗伟晶岩和少量的煌斑岩类。

文峪花岗岩体分布于文峪——泉家峪——枣乡峪一带,出露面积约 65 平方公里,

总体形态呈长轴近东西向的椭圆形，呈岩株状产出，侵位于太华群中，部分地段发育冷凝边。根据 1:5 万区调资料中岩性和接触关系将其分为早期、主期和补充期三个岩浆活动期和四个单元。主期矿物组成有斜长石、钾长石、石英、黑云母等，早期斜长石较多。

表 2-2 小秦岭地区岩浆活动分期 (据黎世美)

地质年代	岩浆旋回	年龄 (Ma)	主要岩石类型	主要分布地点或代表性岩体	产状	穿插、包裹、交代关系
中—晚中生代	燕山	195	云煌岩	小秦岭全区	岩脉	穿切所有岩石和矿脉
			花岗伟晶岩			穿切变质岩、老花岗岩、混合花岗伟晶岩、基性岩脉
			黑云母二长花岗岩	华山岩体	岩基	被含金石英脉穿切
			黑云母二长花岗岩 角闪二长花岗岩	老牛山岩体		
			黑云母二长花岗岩	娘娘山岩体 文峪岩体		
早中生代—晚古生代	印支—华里西	600±10	正长斑岩	小秦岭全区	岩脉	穿切辉长辉绿岩和辉绿(玢)岩
			辉绿玢岩			穿切辉长辉绿岩，被含金石英脉穿切
早古生代	加里东	1400±50	辉长辉绿岩	文峪、金铜岔、杨紫峪等地		穿切各种变质岩、伟晶状花岗岩，被含金石英脉穿切
中古生代	熊耳	1800±10	黑云母二长花岗岩	小河岩体	岩株	高山河组沉积不整合覆盖其上
古元古代	中岳—五台	2500±100	黑云母化角闪二长花岗岩	桂家峪岩体、石母峪岩体		石母峪岩体部分变为黑云长石片麻岩，有条带状花岗质片麻岩捕虏体及暗色析离体
			伟晶状花岗岩(混合花岗伟晶岩)	小秦岭全区	不规则状岩脉	穿切早期花岗质片麻岩(混合岩)
新太古代	阜平		黑云母二长花岗岩	金铜岔、杨紫峪等	岩床	被伟晶状花岗岩穿切
			TTG 岩系及花岗岩等	东桐峪、老鸦岔、金铜岔等地	似层状岩株	已变为钠质和钾质花岗质片麻岩(混合岩)等
			拉斑玄武岩、英安岩—流纹岩	金铜岔、洞沟等地层内	层状包体状	

娘娘山花岗岩体分布于东部娘娘山一带，出露面积约 33 平方公里，总体平面形态近圆形，呈岩株产出，侵位于太华群中。1:5 万区调工作将其划分为两个岩浆活动期、三个单元。主要矿物组成有斜长石、钾长石、石英、黑云母。

华山花岗岩体出露于华阴县以南华山一带，呈东西向展布，长约 2 公里，宽约 6.6 公里，面积约 130 平方公里，呈岩基状产出，侵位于太华群中，按岩性和岩石粒度可将其分为内部相、边缘相和顶部混染相。其主要矿物组成有斜长石、钾长石、石英、黑云母等。

老牛山花岗岩体分布于蓝田县姜家沟——华阴县大夫峪之间，大致呈北东 70° 方向

展布，东西长约 46 公里，南北宽约 3.5—13.5 公里，出露面积约 440 平方公里，呈不规则状岩基产出，侵位于太华群，熊耳群和官道口群中。研究区内出露面积 20 平方公里左右。按侵入关系，可划分出四次侵入活动。主侵入体矿物组成有斜长石、钾长石、石英、黑云母等。

据 1:5 万航磁资料研究表明，文峪、娘娘山岩体磁异常强度大致相同。其中文峪岩体异常更为复杂，至少由 9 个小异常组成。异常梯度北缓南陡，南北均出现负值，表明岩体延深有限。岩体北侧负异常从大湖峪向南收缩，而南侧负异常在白花峪和白家村一带向北收缩，因此，文峪、娘娘山岩体在深部相连的可能性不太大。此两个岩体均向北倾，倾角 50° 左右。据黎世美用切线法、特征点法和积分法求得文峪岩体平均中心埋深为 4.7 公里，推断其下延深度约为 9 公里；娘娘山岩体平均中心埋深约为 6.2 公里，推断其下延深度约为 12 公里。

第三章 矿床特征

东桐峪金矿床总体特征同小秦岭地区其它金矿床特征相同，空间分布与花岗绿岩带密切相关，并主要赋存于绿岩地层下部大月坪组和中部的洞沟组内；金矿的直接赋矿围岩主要为侵入其中的太古宙变 TTG 岩系（注：TTG 岩系指与绿岩共同产出的花岗岩类，包括英云闪长岩、奥长花岗岩和花岗闪长岩），其次为变镁铁质及长英质火山岩、火山碎屑岩、沉积岩及基性脉岩等；矿脉空间分布与燕山期重熔岩浆形成的中深富钠黑云母二长花岗岩基或岩株有关，主要矿床分布于距岩体 2 公里以外地带；金矿分布受构造控制明显，整个金矿带局限于边界大断裂之间及其附近。金矿床总体空间分布和形态与褶皱构造有关，具体位置严格受脆韧性剪切带控制。主要控矿断裂为近东西向（Q8）和北东向（Q12）；金矿化类型主要为石英脉型，其次为破碎带蚀变岩型；金的成矿时代为燕山期，它与绿岩带的形成时间相差很大，二者为非同构造期产物。金矿由太古宙绿岩、花岗岩重熔岩浆期后热液形成；矿石主要由金属硫化物及脉石矿物组成。矿脉在水平方向出现矿物组合分带和矿化强度分带，在同一矿脉的同一矿化富集段内，从上到下具有矿化强度由强变弱的趋势。

第一节 含金构造带及石英脉特征

一 含金构造带特征

矿区内含金石英脉都产于断裂构造带之中。只要有石英脉存在，就肯定有控脉的断裂构造带存在，且断裂构造带的规模总比石英脉的规模大得多，而石英脉在断裂构造带中总是呈不连续的透镜状、扁豆状单脉或复脉、个别地段呈现密脉状存在。据统计，陕西小秦岭金矿中不同方向含脉构造带中的线含脉率最高不超过 60%。但是各构造带由于所处具体位置不同以及各个构造带中的不同地段，其含脉性差异比较大，且各含脉构造带特征各异（表 3-1）。以走向近东西的 Q8 号矿脉所处的构造带为例，其西段在陕西境内出露地表长度为 1650 米，而石英脉出露的地段仅 150 米左右，其余地段仅有蚀变不太

表 3-1 东桐峪金矿主要含金构造带特征统计表

产 状 (度)			代 表 号	主 要 矿 化 类 型	矿床(脉) 规模	构造 性质
走向 (系列)	倾 向	倾 角				
东 西 70—110	160—200	30—60	Q8、Q10、 Q14	多金属矿化	大—小	压 兼 扭
	350—20	45—90	Q01	黄铁矿化		
北 东 30—55	120—140	60—80	Q12	多金属矿化	大	扭 兼 压
	310—320	15—65	Q13	黄铁矿化为主， 多金属矿化为次	小	

强烈的构造片岩—绢云母石英片岩出露，地表含脉率不足 10%。然而地下却埋藏着长达 1000 米左右的含金石英脉体和储量可观的金矿体。东桐峪金矿区内的 Q8 号矿脉正好位于该构造带含脉率较高的地段，其中含金石英脉总体走向同构造带一起变化于 $252^{\circ} \sim 284^{\circ}$ 之间，平均产状 $191^{\circ} \angle 47^{\circ}$ 。含脉构造带具有多期活动的特点：

1. 成矿前构造：成矿前构造是指构造带已形成，石英脉贯入之前的结构面，其特点是：构造带内岩石主要为糜棱岩、千糜岩、构造片岩三种。矿物成份主要由绢云母、绿泥石及石英组成，这些矿物具定向排列，其排列方向多与构造带的走向一致；构造岩多具千枚状、片状构造，片理较发育。且片理与构造带走向平行，在倾向上，有时可见片理与其底板呈现锐夹角。说明成矿前其构造的力学性质以压性为主，兼具扭性特征。

2. 成矿期构造：成矿期构造多被贯入的石英脉充填而发生愈合，所以控制石英脉体的构造即为成矿期构造。其特点是：石英脉在构造带中呈透镜状、脉状产出，膨胀狭缩明显，接触面多呈不规整状，其排列具有尖灭再现（图 3-1）、尖灭侧现、分枝复合等特

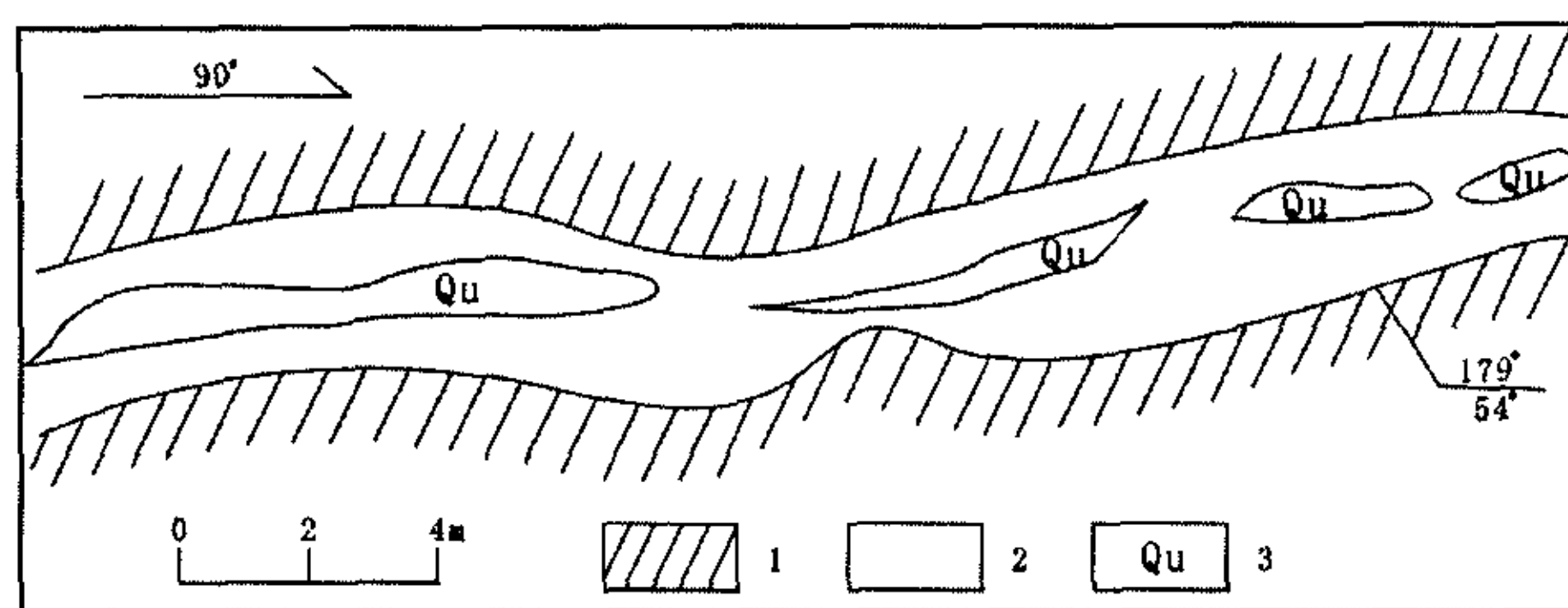


图3-1 含金石英脉沿构造带尖灭再现素描

1 围岩 2 构造带 3 含金石英脉

征。图 3-1 中主要反映了坑道中局部地区含脉构造带的具体特征，构造带与石英脉的接触面较舒缓，接触界线清楚，与上下围岩界线分明，易于辨认。围岩以斜长角闪片麻岩或角闪岩为主。它是笔者在 Q8 号矿脉 866 标高段的西段中对坑道北壁进行观查时所作的构造素描图。在此处可以清楚的看到，金属硫化物呈条带状、脉状产出，其延伸方向与脉体或构造带顶底板界面一致，含金石英脉随构造带走向和倾向的变化而作小规模的波状变化，说明含金石英脉的产生及其发展和演化的整个过程严格的受到控脉构造带的约束和限制。另外，根据含金石英脉在构造带中的赋存状况及其与构造带边界的位置关系分析，含金石英脉的形成时间应在构造带形成之后。根据构造带与围岩的接触界面较为平缓，空间起伏变化不大的特点分析，该构造带及其所含的含金石英脉应是在压性构造应力场作用下所形成的。由此可以说明，Q8 号含金石英脉是在成矿前构造带中以贯入石英脉的基础之上，继续受到压应力的作用发生挤压错动，导致先前形成的石英脉发生变形破裂，产生大量的裂隙，这些裂隙在构造活动中便成为了含矿溶液的最终聚集场所。由于成矿期构造运动的力学性质以压性为主，因此，所形成的构造裂隙产状较平缓，且

以平行石英脉走向发育为主，贯入其中的硫化物受其限制，必然呈条带状、细脉状沿石英脉走向分布。

3. 成矿后构造：成矿后构造在区内不发育，主要为一些小错动及擦痕，对矿体破坏性很小，基本上不影响矿体的完整性和连续性，部分地段处仅将矿脉切断而不发生位移。根据擦痕的表现特征及成矿后小错动运动特征分析，东桐峪金矿主要含金构造带的力学性质在成矿后仍具压性特点，从而进一步说明了本区的构造运动在成矿前、成矿中及成矿后从未间断过，只是在不同的时期，构造运动的规模大小不同而已。

二 石英脉产态及分布特征

石英脉在构造带内分布广泛，规模不等，且连续性较好，多呈透镜状、脉状产出，同一条石英脉的不同地段产态、薄厚含矿性等特征变化较大。含金石英脉沿走向和倾向膨胀狭缩变化较明显，局部分枝复合，排列形成尖灭再现、尖灭侧现、分枝复合等，以前者最常见，各石英脉产状总体上与构造带产状一致。

第二节 矿体特征

笔者通过详细的野外调研及室内资料整理，对于东桐峪金矿矿体特征有了一个总的认识：矿体产于含金石英脉中，严格受构造断裂带（脆韧性剪切带）及其派生的次级断裂构造的控制，矿体形态一般呈薄厚不等的不规则板状、透镜体状、囊状、串珠状产出。图 3-2 为 Q12 号含金石英脉西段 1125 中段坑道素描图，此处可见到三条含金石英脉

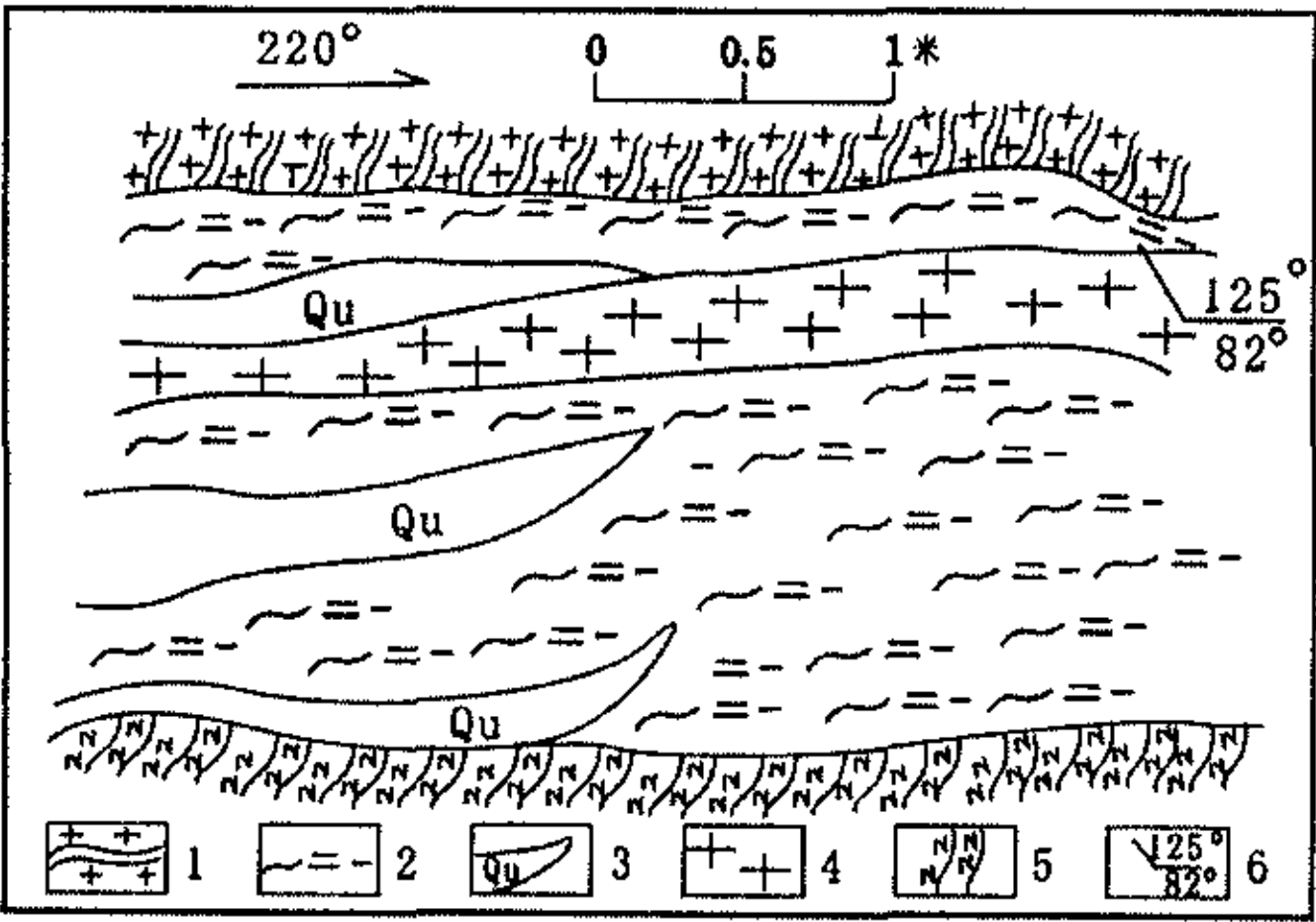


图3-2 石英脉沿构造带平行分布素描

- | | | |
|--------|------------|---------|
| 1 混合岩 | 2 绿泥绢云石英片岩 | 3 含金石英脉 |
| 4 伟晶岩脉 | 5 斜长角闪岩 | 6 产状 |

沿构造带平行分布，石英脉裂隙中有硫化物分布，构造带上盘为混合岩，下盘为斜长角闪岩；图 3-3 为 Q12 号矿体走向横断面素描图。从素描图中可以看到，矿体的产出与石

英脉关系密切，矿体基本上均产于石英脉中，其厚度一般大于或等于石英脉厚度，长度则小于或等于石英脉的长度。

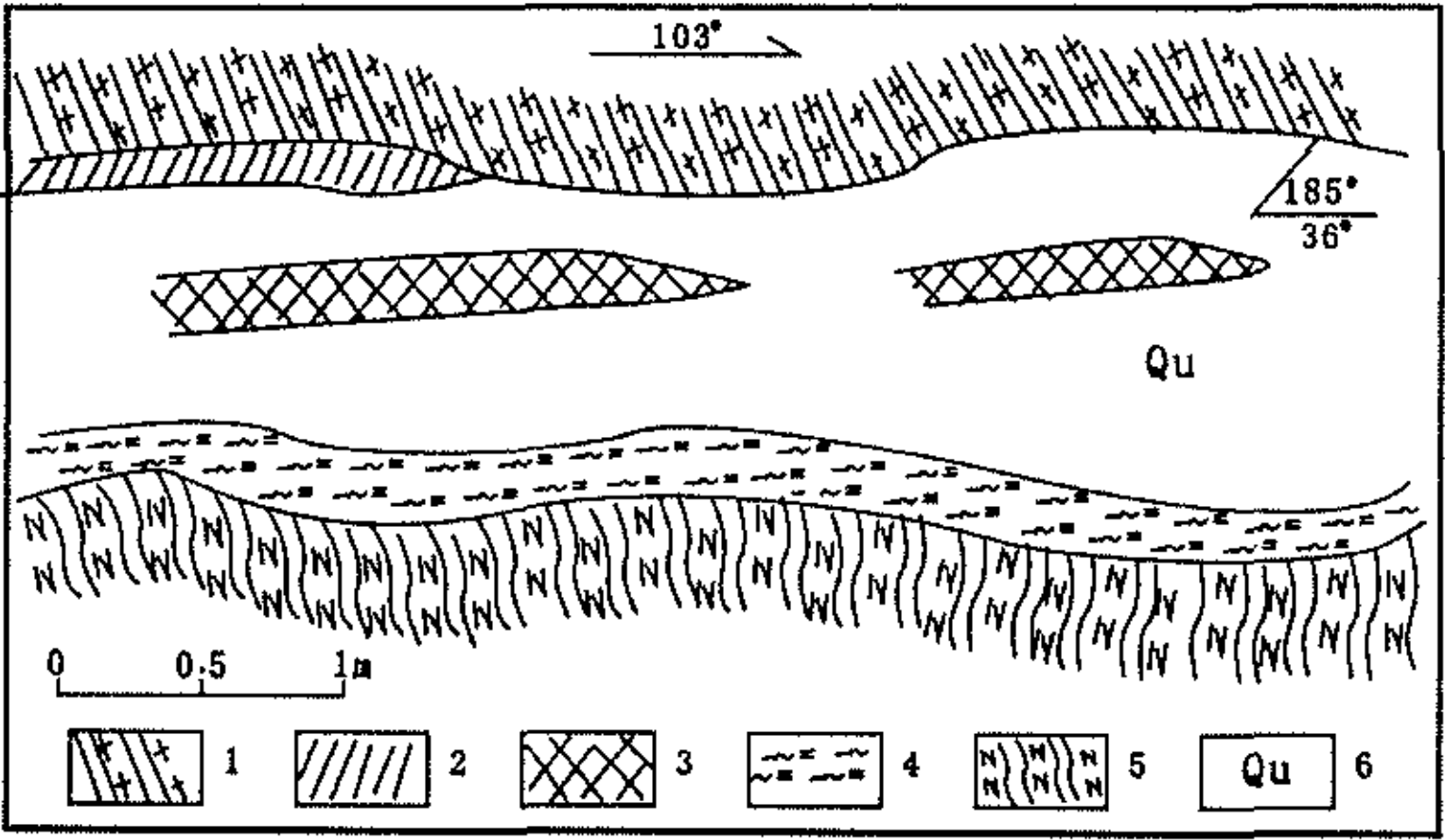


图3-3 含金石英脉沿构造带（走向横剖面）发育素描图

1 混合岩 2 方铅矿 3 黄铁矿 4 绿泥绢陨石英片岩 5 斜长角闪岩 6 含金石英脉

矿区内东西向或近东西向矿体（如 Q8、Q10、Q14、Q18 等）一般产于压或压扭性构造带中。矿脉以小倾角向西侧伏为主（图 3-4），但局部仍保存较大倾角产出的变化特征，脉体在倾角较缓的地段，厚度较大，多呈板状产出，在倾角较大的地段厚度较小，多呈长而窄的透镜状产出。矿化以走向 285 度左右，中等倾角及缓倾角处较强；北东向矿体（如 Q12、Q13 等）一般产于带有轻微逆时针方向扭动的扭压性构造带中。矿脉倾角较东西向大，呈长度不很长的透镜状斜列在构造带中，向南西侧伏，矿体多出现于石英脉中的同一高程内（图 3-5），矿体之间无矿高程间距较小，矿化在陡倾角处较好。

图 3-4 Q8 号矿脉米克/吨等值线平面图

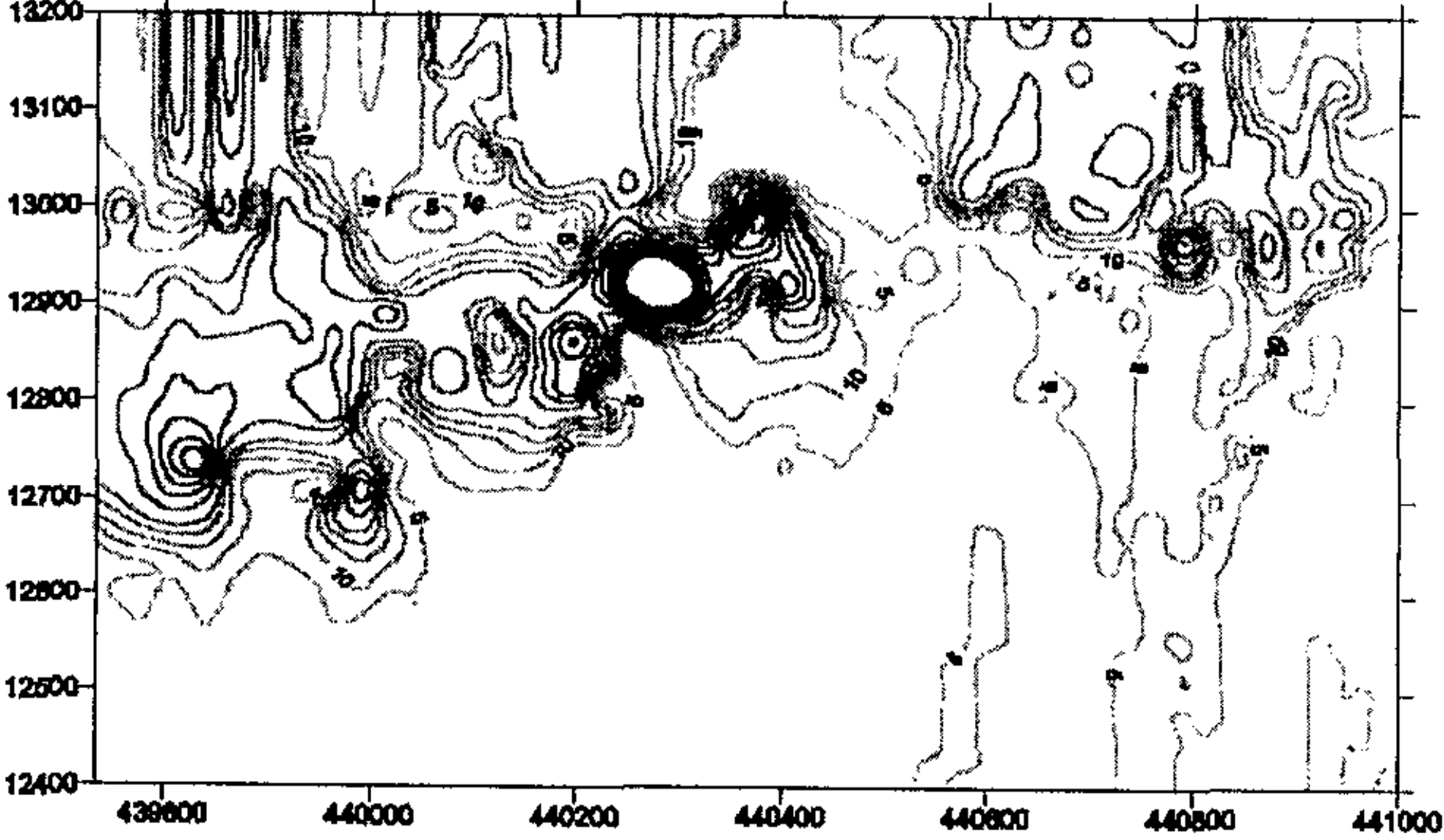
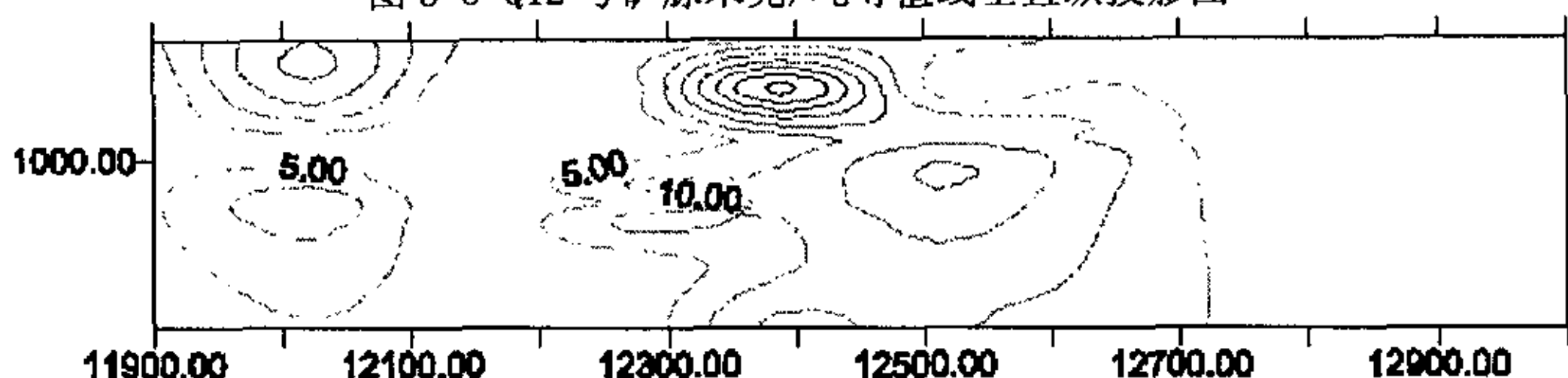


图 3-5 Q12 号矿脉米克/吨等值线垂直纵投影图



由上可见，断裂构造的规模、产状、形态变化等因素不仅控制着含金石英脉的赋存部位及其总体形态，同时还决定着金矿体中金的富集部位及富集特征。

第三节 矿石特征

一 矿石的矿物成份

矿体中矿石主要由金属硫化物组成。金属硫化物含量在 5% 左右，以黄铁矿为主，方铅矿、黄铜矿、闪锌矿、磁铁矿及自然金次之。脉石矿物含量 95% 左右，以石英为主，绢云母、白云母等次之。

黄铁矿：是矿石中的主要载金矿物，呈亮黄——灰黄色，半自形——它形粒状，粒度 0.1~1 厘米，其粒度大小与其含金性具有密切关系，一般是黄铁矿粒度愈细，其含金性愈好。以团块状，条带状，星点状、浸染状或细脉状（图 3-6）沿石英脉走向分布。如果按生成时间划分，可将黄铁矿分为 I、II、III 三期。I 期：浅黄及亮黄色（风化后呈黑褐色），自形晶粒状，颗粒粗大，0.1~2 毫米，呈星散状、不规则团块状不均匀分

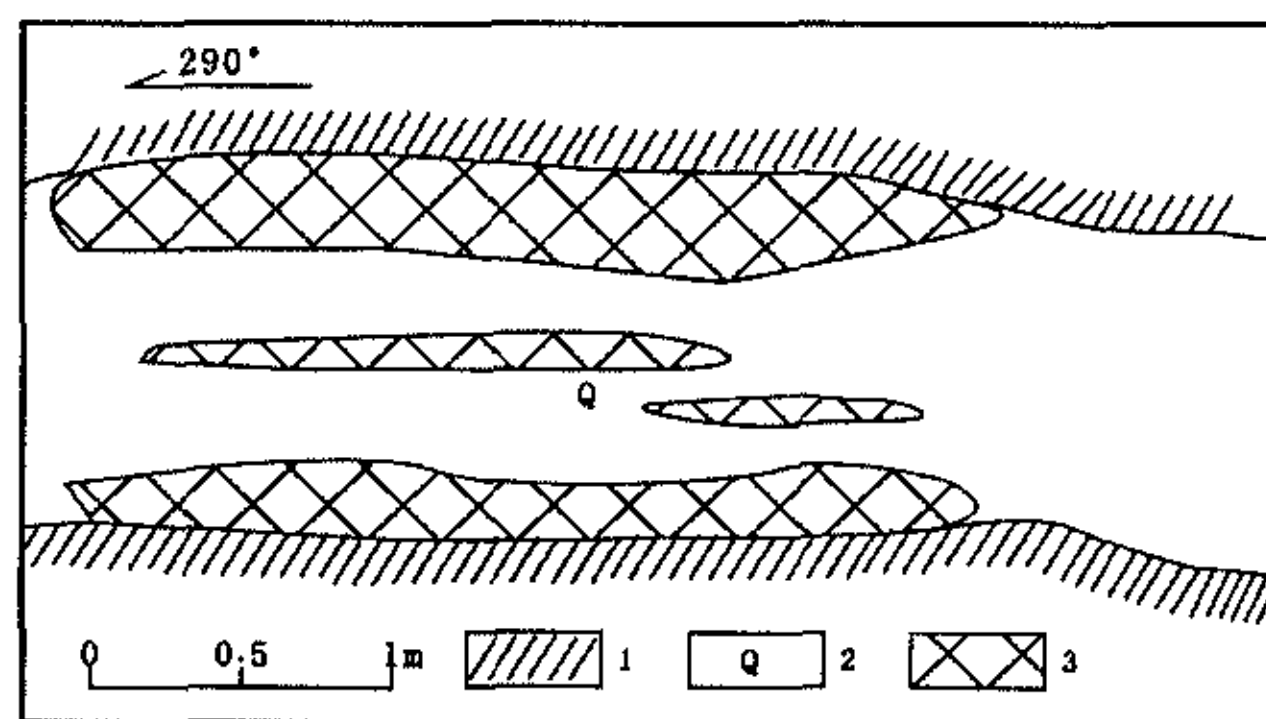


图3-6 黄铁矿沿石英脉走向裂隙分布素描
1 围岩 2 石英脉 3 黄铁矿细脉

布于 I 期石英脉或围岩中，含金性较差。II 期：浅铜黄色，自形——半自形晶粒状，2~5 毫米。呈条带状、细脉状，主要分布在 II 期石英脉中，含金性好。III 期：烟灰色，自

形——半自形晶粒状，小于1毫米。细脉状及微细脉状与III期石英脉共生，含金性好但量少。

方铅矿：银灰色，半自形——他形粒状结构，粒度小于5毫米，多成集合体团块状（图3-7）、浸染状产出，常与黄铁矿相伴分布。

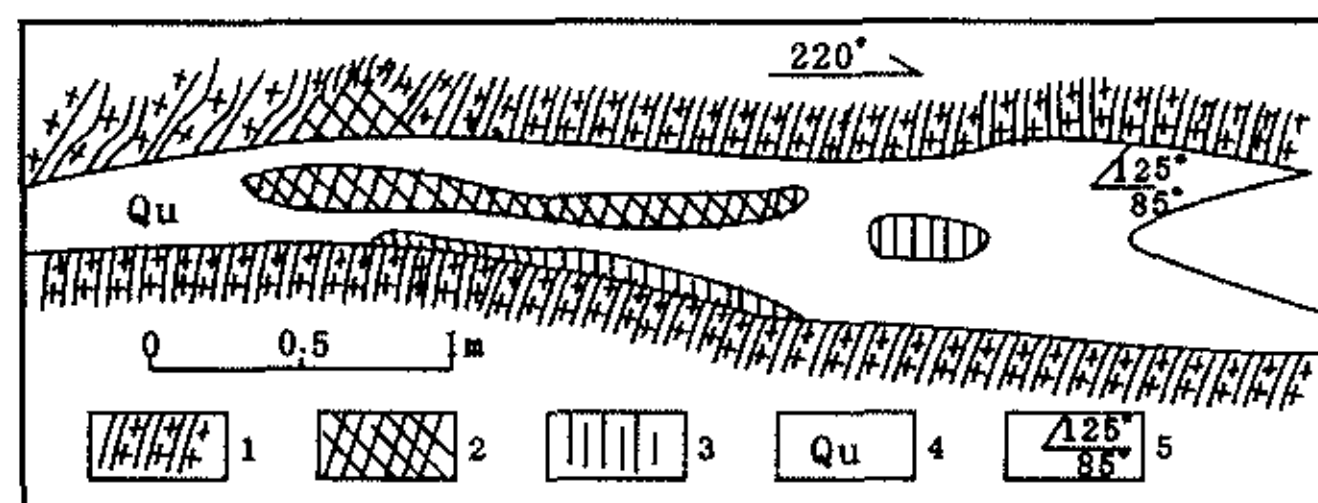


图3-7 含金石英脉中硫化物分布状态素描

- | | | |
|---------|-------|-------|
| 1 均质混合岩 | 2 黄铁矿 | 3 方铅矿 |
| 4 含金石英脉 | 5 产状 | |

黄铜矿：铜黄色，它形粒状结构，在洞内多以铜兰或孔雀石出现，常分布于其它硫化物颗粒之间。

自然金：镜下呈金黄色、黄色，强金属光泽，粒状，不规则粒状或细脉状产出为主。多嵌布于黄铁矿、黄铜矿、方铅矿的粒间或边缘，或沿金属硫化物裂隙及石英脉裂隙呈细脉状产出。单独产于石英颗粒间的自然金，往往粒度粗大。

主要脉石矿物——石英，按生成顺序分为三期。I期：乳白色，它形晶粒状、破碎粒状、糜棱状分布。裂隙非常发育，与I期黄铁矿共生，含金性差；II期：白——灰白色，它形粒状，常呈条带状、糜棱状，裂隙发育，具不同程度的破碎，与II期黄铁矿及黄铜矿等金属矿物共生。常见到其垂直II期黄铁矿边缘生长，并溶蚀II期黄铁矿，同时也见到II期黄铁矿包裹它，其含金性略高于I期石英；III期：烟灰色、它形晶粒状，细粒，粒度小于1毫米，呈细脉及微细脉状充填在II期石英脉中，含金性较好。

二 矿石的结构、构造

矿石结构主要有自形晶粒状结构，半自形晶粒状结构，它形晶粒状结构，交代蠕虫状结构、溶蚀或交代溶蚀结构及筛孔——骸晶结构等。

矿石主要构造有块状构造、团块状构造、条带状构造、浸染状构造等；其次有细脉状构造和晶洞状构造。

三 自然金的赋存状态及分布规律

黄铁矿是该矿区的主要载金矿物。因此，金主要赋存于以黄铁矿为主的多金属硫化物、石英脉及其上下盘附近的蚀变构造岩中。自然金主要产于黄铁矿、方铅矿、黄铜矿及石英等矿物颗粒间的空隙或裂隙中，其主要赋存状态为粒间金、裂隙金和包体金。据原陕六队地质报告按重量百分比统计结果表明，粒间金占绝对优势（>80%），其次为裂隙

金（占 5—10%），包体金只占 1—5%。

粒间金：呈粒状、不规则粒状、三角状及钩状等，多产于黄铁矿、方铅矿等多金属硫化物的粒间或空隙中，粒度一般大于 0.01 毫米，个别可达 2 毫米。其产出形态随充填空间形态而异。

裂隙金：呈微细脉、树枝状及片状等，产于黄铁矿裂隙及石英的裂隙中。

包体金：呈浑圆状、扁豆状及半自形粒状等，多包于黄铁矿中。方铅矿中自然金呈粒状或与辉铋矿、辉锑矿共生。

从自然金的赋存富集条件及分布规律中可以清楚地看到包体金主要分布于黄铁矿中；粒间金多分布于黄铁矿粒间；裂隙金主要分布于黄铁矿及石英脉的裂隙中。自然金与黄铁矿、方铅矿等金属硫化物有着极为密切的正相关关系。

第四节 矿石类型及矿化期次

一 矿石类型

依据矿石矿物成份，共生组合及含金性，东桐峪矿金矿区内矿石的自然类型可分为：

1. 金——黄铁矿——脉石英型
2. 金——多金属硫化物——脉石英型
3. 金——构造蚀变岩型

在以上三种类型中，第一、二种类型是最主要的矿石类型，分布广，含金性好。第三种矿石类型仅见于第一、二类型的外侧及石英脉尖灭及尖灭再现处的构造带中，含金性不稳定，分布极不均匀，所占比重很小。

二 矿化期次

东桐峪矿区内，金矿脉一般分为两个矿化期，即热液期和表生期。其中，热液期又可分为两个矿化阶段：

1. 金——黄铁矿——石英矿化阶段：早期硅酸岩含矿溶液沿成矿期构造裂隙贯入，沉淀生成 I 期石英脉，组成矿脉的主体，同时伴随生成 I 期黄铁矿及微量方铅矿、黄铜矿、磁铁矿、毒砂、自然铋、自然金等。本阶段含金性较好，绝大多数可行成工业矿体，是金矿脉的主要矿化阶段。

2. 金——多金属硫化物——石英矿化阶段：此期硅酸岩含矿溶液主要充填在 I 期石英脉的裂隙中，或沿成矿期压性裂隙继续贯入，沉淀生成 II 期石英脉。其分布仅次于 I 期石英脉，伴随生成的金属矿物主要有：II 期黄铁矿、方铅矿、黄铜矿，次为辉锑矿、闪锌矿、自然金、自然银等，叠加于一期矿化之上，此阶段含金性最好，可形成富矿体。

表生期的矿化作用主要表现为，分布于地表及浅部的矿脉在表生作用下被氧化，生成较富的矿体，但此期的矿化作用较热液期弱。

第五节 矿石围岩及夹石

一 矿体上下盘围岩及围岩蚀变特征

东桐峪金矿区内矿体上下盘围岩主要为构造岩类，如千糜岩、构造片岩、混合岩等。在构造紧闭地段，构造带极不发育，其厚度仅有几厘米，矿体往往直接与片麻岩类岩石及混合岩接触。

围岩蚀变主要有绢云母化，碳酸盐化，绿泥石化，黄铁矿化及硅化等。次为绿帘石化，钠长石化及黑云母化等。在构造带内，绢云母化、碳酸盐化、黄铁矿化、硅化强烈，构造带外侧则以绢云母化、绿泥石化为主。蚀变的强弱及蚀变的规模与围岩性质密切相关，一般在构造带的厚大部位，其蚀变较强，蚀变带较宽；斜长角闪岩，片麻岩，混合岩等则较弱，蚀变带较窄。黄铁矿化，硅化与金矿化关系最为密切，碳酸岩化，绢云母化次之。

二 矿体中的夹石

夹石主要分布在矿体厚大部位，少数位于矿体具分枝复合处，一般延长不大，厚度较小，对矿体的完整性无影响。夹石多呈透镜状、团块状及菱块状分布于石英脉中，其长轴与石英脉走向平行（图 3-8）。夹石的成分主要为碳酸岩、绿泥石、千枚岩、片麻岩及混合岩类，夹石在东桐峪金矿的矿体中并不发育，仅在矿体厚大的局部位置出现，不应响矿体的形成。

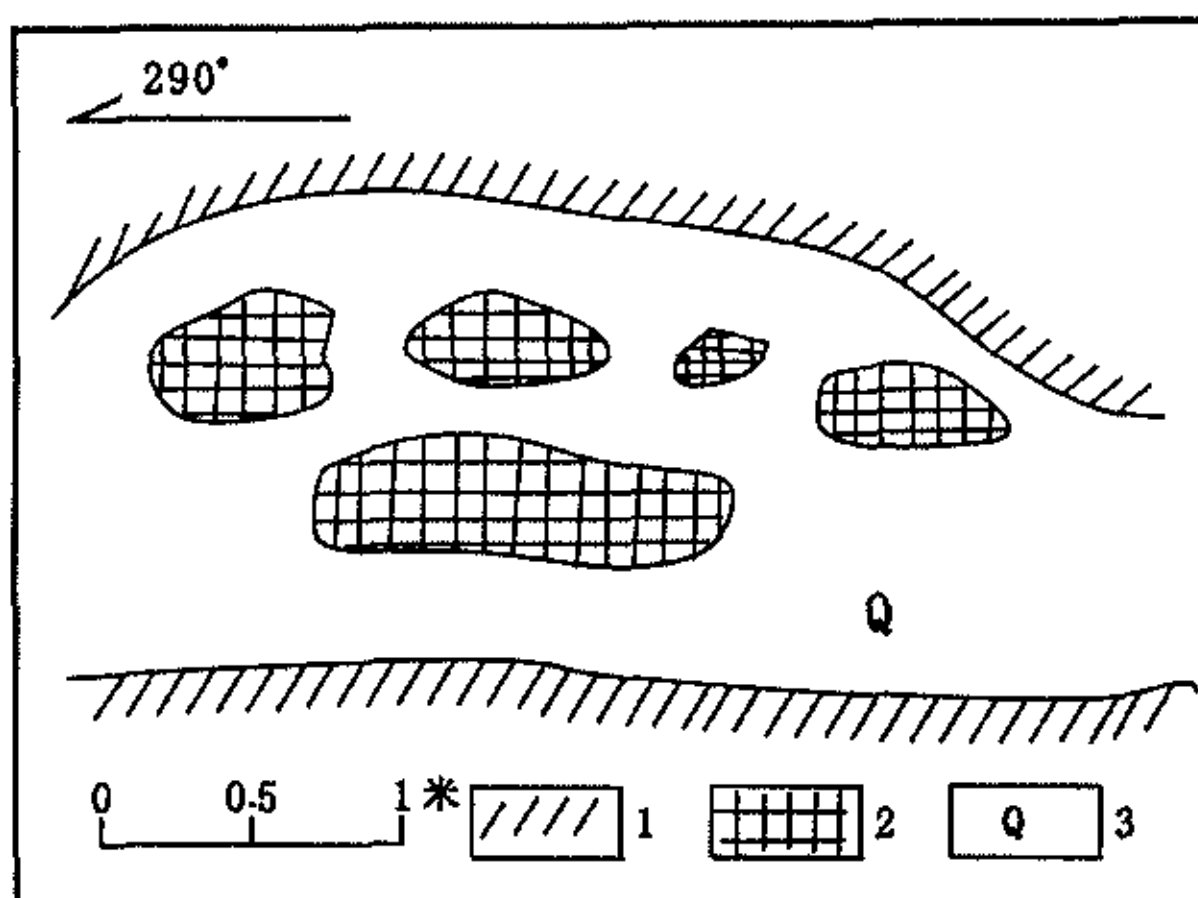


图3-8 夹石长轴与石英脉走向平行素描

1 围岩 2 夹石 3 石英脉

第六节 控矿因素及金的富集规律

一 控矿因素

东桐峪金矿区矿脉属中、低温变质热液成因金矿床。控制成矿的因素较多，但起主要作用的因素可归纳为以下几点：

（一）地层

太古界太华群古老变质岩区呈东西向带状分布，区内大量的含金石英脉均产于其中，并受其严格控制。因此，太古界太华群是一个含金变质岩区，它控制了整个小秦岭金矿田。各地层的含金石英脉产出统计见表 3-2，据表可见，含金石英脉的产出条数以洞沟组最多，其规模以大月坪和三关庙组最大。潼关地区，金矿床（点）主要产在大月坪组——三关庙组地层中，尤其以大月坪组最为重要（表 3-3）。其中形成的矿床（点）数多，规模较大，金品位较高。由此可见，地层层位对矿床的控制较为明显。

表 3-2 太华群各地层组产出石英脉条数统计表（据地质六队）

地 层 别	统 计 结 果			
	石英脉 (条)	累计数 (条)	所占百分比 (%)	频 率 (条/Km ²)
大月坪组	187	187	27.74	2.31
板石山组	53	240	7.86	0.70
洞沟组	376	616	55.79	3.06
三关庙组	58	674	8.60	0.77

表 3-3 太华群各组中已知矿床数及探明储量统计表（据地质六队）

地层组别	矿床数量 (个)	占探明储量 (%)	备 注
大月坪组	8	54.41	该统计数仅限于陕西境内
板石山组	1	2.31	
洞沟组	2	9.43	
三关庙组	4	33.85	

（二）构造

区内地层呈东西向带状分布，矿脉密集区（带）呈东西向延展，侵入体长轴与区域构造线方向一致，这些充分反映了东西向构造是本区地层，矿脉、岩浆岩的控制因素，属秦岭东西向复杂构造带范畴。近东西向一级复式背斜控制了金矿田的位置。矿田南北两条走向东西的大断裂和复背斜的波浪状起伏地段控制了矿田及含金构造带密集区的展布。含金构造带为储矿空间，大断裂不仅是导矿构造，同时在某些地段也成为直接赋矿部位。

（三）岩浆岩

对于东桐峪金矿床与岩浆活动的关系目前有两种观点，其一认为属岩浆期后热液形成，与燕山期花岗岩有关；其二认为属变质热液形成。笔者通过研究，赞同前一种观点。首先，在近矿热液蚀变带内，金矿体或矿化岩石与基本未蚀变的岩石之间常出现金的低值带，表明在蚀变过程中金被带出参与了成矿。但由于含金构造带的体积和蚀变作用影响的范围都是有限的，因而以此种方式直接从控矿构造带和金矿围岩中所萃取的金总量是有限的。所以，金等成矿物质主要是由岩浆热液提供的，这些成矿物质是在太华群及其以下岩石重熔、选择重熔形成花岗岩浆过程中转入岩浆的，并在岩浆分异演化的晚期相对富集，形成富含金的岩浆期后热液。另外，小秦岭地区已知的大、中形金矿床在空间上分布于晚燕山期花岗岩基（目前已探明的主要是文峪花岗岩）及华山岩体的周围 2—7 公里范围内（图 3-9），说明金矿床的形成与岩浆岩的形成和活动有关。

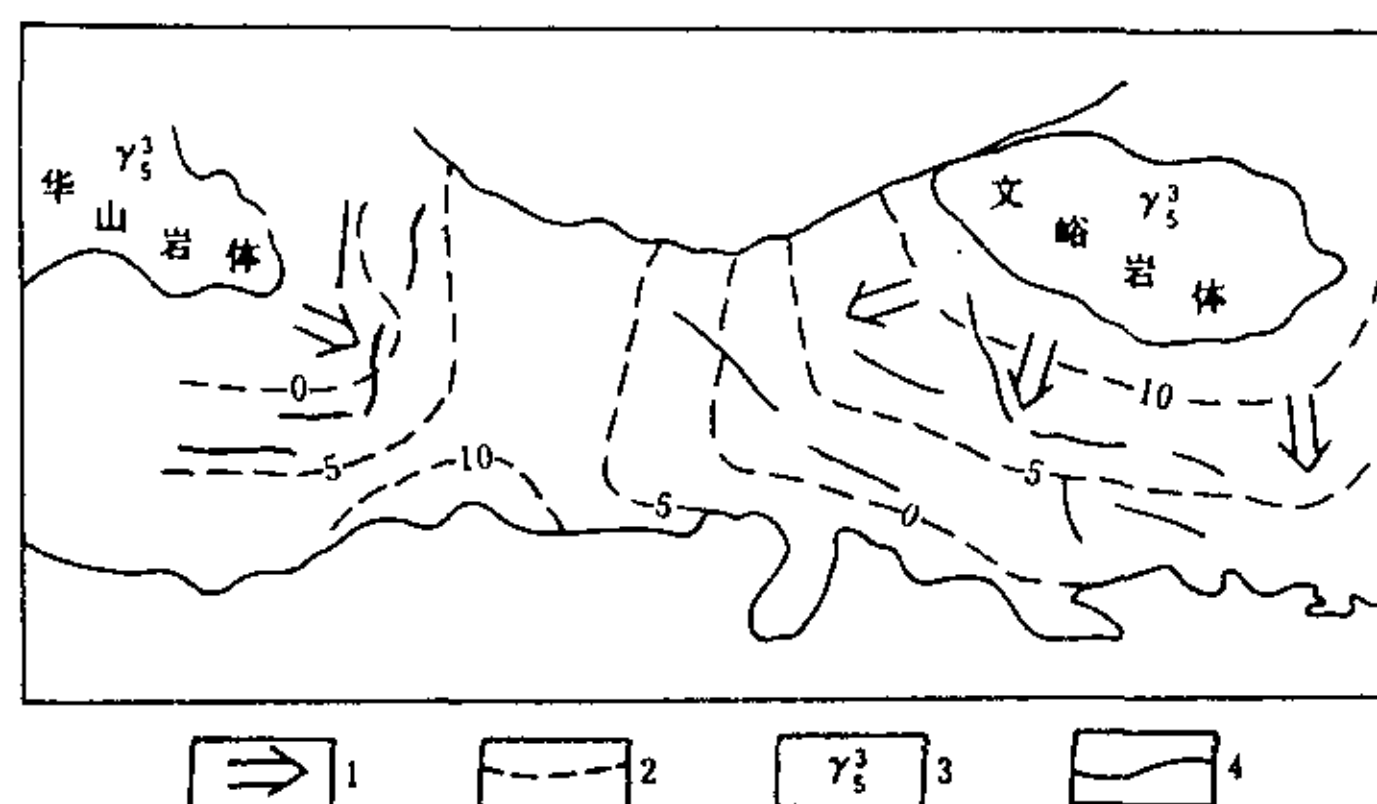


图 3-9 矿体与岩体空间位置关系示意图

1 矿液运移方向； 2 硫同位素等值线； 3 晚燕山期花岗岩； 4 主要金矿脉

金矿脉的这一产出特点进一步说明，花岗岩在空间上对小秦岭地区矿床的分布具有成因意义。东桐峪金矿床在空间位置上处于文峪岩体及华山岩体之间并靠近文峪岩体，因而含金热液在迁移过程中不仅受到文峪岩体所产生的热源影响，同时还受到华山岩体所产生热源的影响。东桐峪金矿床中矿体（如 Q8、Q12 等）金品位较高，可能与此“双重”热源作用有着重要的关系。

综上所述，在地层、岩浆岩、构造等几个因素中，构造活动不仅导致相关的地层发生褶皱变形并使其在一定部位成为了有利的含矿地层，而且构造活动利于岩浆的形成和运移侵入，同时岩浆在运移侵入形成岩体的过程中，释放出的大量热能进一步促进了含矿溶液的产生和活动，使得岩体附近地层中的金元素发生活化重熔并在一定的物化条件下及地层的有利部位富集成矿。因此，构造活动应为本区的主要控矿因素。

二 金的富集规律

金的贫富变化及富集规律与成矿空间、矿石类型、矿石结构构造、产态等因素有关。金品位与金属硫化物含量成正消长关系，与黄铁矿关系最密切，与方铅矿关系较密切，

第二期黄铁矿含金性最好；金——多金属——脉石英矿石含金性最好，金——黄铁矿——脉石英矿石含金性较好；中——细粒结构、条带状、细脉状、团块状构造含金性好，自形粒状结构，稀疏浸染状构造含金性差；Ⅱ期石英脉的分枝部位含金性较差；金与黄铁矿化、绢云母化及硅化关系密切；脆韧性剪切带控制蚀变千糜岩型和石英脉型金矿；构造带沿走向、倾向呈舒缓波状地段利于金矿体富集；通过对大量样品结果处理、分析发现，在空间水平方向金品位变化为：东西向或近东西向矿脉中金属量的富集由东向西呈增强趋势；北东方向矿脉中金属量的富集以中部（仅指东桐峪矿区）为主。垂向上，东西向或近东西向矿脉中金属量的富集中心向南西向测伏并呈增强趋势；北东向矿脉中，金属量的富集在同一中段及不同标高上的富集中心呈等间距分布。

第四章 构造控矿特征

东桐峪金矿的控矿构造为直接控制含金石英脉和含金构造蚀变带产出的断裂构造。根据控矿断裂构造的力学性质不同，可将其分为压性、压扭性、扭性、张性和张扭性断裂构造；根据构造岩表现形式不同，可分为糜棱岩带（栾世伟，1985）和破碎带（蒋顺才，1991）；根据构造带的变形——变质作用不同可分为韧性剪切带（刘喜山等，1992）、脆韧性剪切带（胡正国、钱壮志，1989）和脆性断裂带等。不管采用何种分法，在研究东桐峪金矿控矿特征时都不能否认控矿构造与矿体形成具有极为密切的关系这一特征。同时，由于东桐峪金矿为小秦岭金矿田之一部分，因而其控矿构造必然受到小秦岭金矿田总体控矿构造特征的影响，由此而产生与整个小秦岭金矿田控矿构造相协调或一致的控矿构造特征。

第一节 次级控矿构造单元的划分

一 划分的理论依据

东桐峪金矿区位于秦岭构造带的东段小秦岭地区，为确定其所处次级构造单元的具体位置，在此，首先对划分次级构造单元的理论依据——“波浪镶嵌构造理论”作以简要介绍。

“波浪镶嵌构造理论”为已故著名地质学家张伯声教授所创立。张伯声教授于 50 年代末主持编制《陕西省地质图（1: 50 万）》的过程中，发现了华北、华南两大地壳块体以秦岭构造带为支点带在地质历史时期不断地进行着“天平式运动”，并指出天平式运动形式在大地构造演化中具有普遍意义。随后，张伯声教授又与其弟子门通过多年辛勤地工作，不断地发展和完善这一理论，使其最终被确立为中国五大构造学派之一。

波浪镶嵌构造理论的理论核心之一为波浪运动，即世界是物质的，物质是运动的，运动的形式是波浪状的。具体到地质块体表现为天平式、翘倾式、吊筛式、扭麻花式；应力波的效应有拼合、裂解、旋扭、剪错等。地壳运动形式虽然千差万别，但有统一的规律可循，即波浪运动。地质发展和地质构造在时、空上的等距性及其可次分性，就是因为波浪的级别不同，波长和周期不同；其理论核心之二为镶嵌构造，即任何事物都不是孤立的，都同其它事物有着或多或少的联系。具体到地壳镶嵌构造为，地壳是由大大小小的一级套一级的壳块、地块（山块）、岩块、粒块等被大大小小的一级套一级的构造带、断层（褶皱）、节理、显微裂缝等有规律地组合起来的网状镶嵌系统。由于它们不是杂乱无章地组合，因此，它们就具有整体统一协调的运动规律，其表现为地球的四大波浪运动系统。不同系统波浪的组合交织使地壳不同区段所具有的构造活动性的强弱不同，从而形成三种最基本的构造单元：网结区或称构造结，其构造活动性最强；网眼区或称稳定地块，其构造活动性最弱；网线区或称过度带，其活动强度介于网结与网眼之间。

二 次级构造单元的划分

根据波浪镶嵌理论,小秦岭受到北东向的环太平洋波浪系统和北西向的特提斯波浪系统的共同作用影响。在北西方向上,为华北地块南缘与秦岭构造带接触的过渡部位,在北东方向上,为一系列北北东——北东向断裂带所分割的构造断块组合而成,小秦岭处于北东向的环太平洋波浪系统燕辽——太行——龙门一级构造和北西向的特提斯波浪系统天山——祁连——大别一级构造带相互编织的秦岭结内(张伯声等,1986)。在北西方向上,这是华北地块南缘与秦岭构造带接触的过渡部位,而在北东方向上,它是一系列北北东——北东向断裂带所分割的构造断块所组成的(图4-1)。

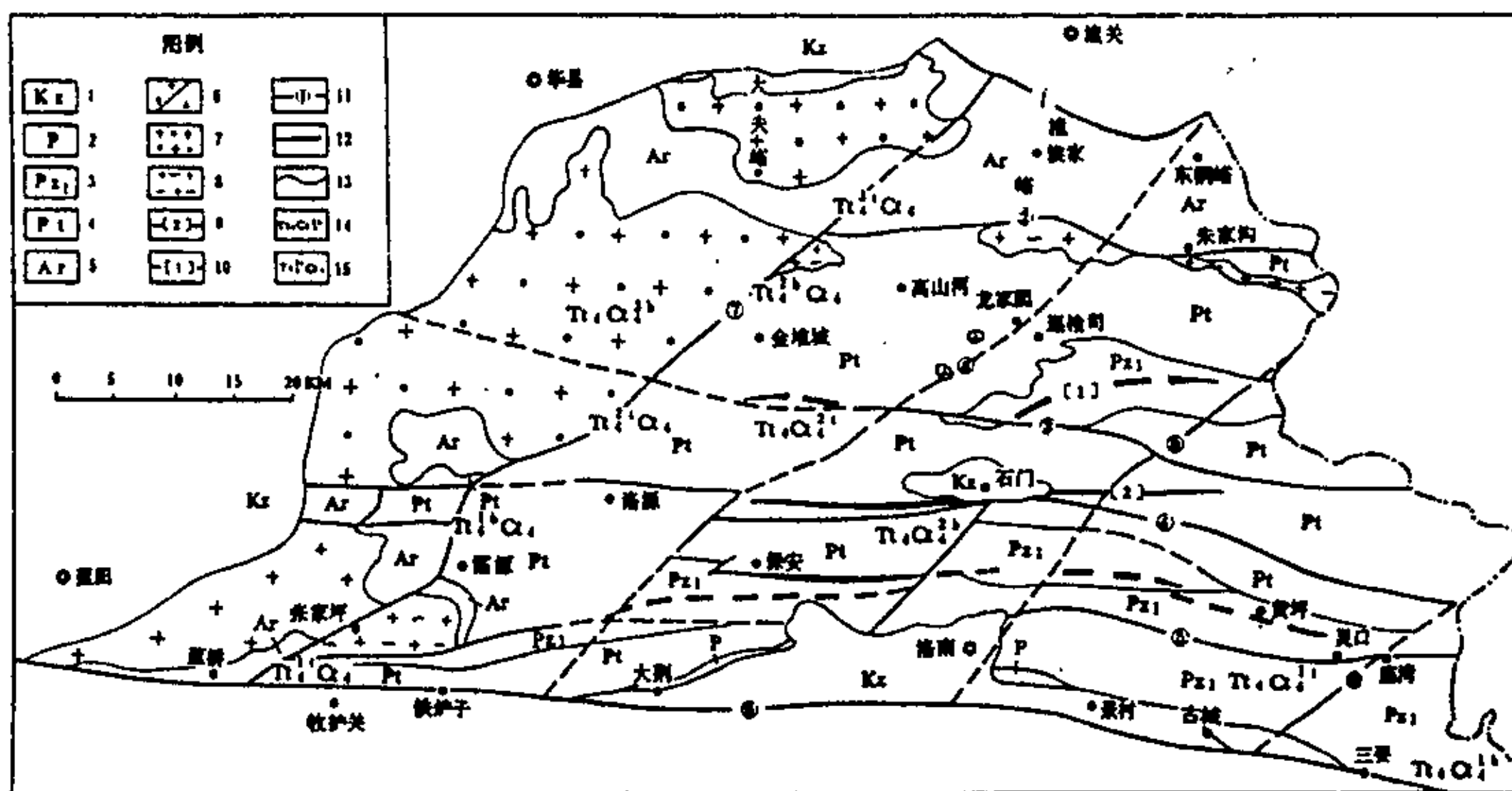


图 4-1 陕西小秦岭地壳波浪镶嵌构造区划图 (据吴文奎, 1993)

1. 喜山期构造层 2. 海西晚期亚构造层 3. 加里东期构造层 4. 元古宙构造层 5. 太古宙构造层 6. 燕山期花岗岩/闪长岩 7. 晚加里东-海西期闪长岩 8. 元古宙花岗岩 9. 主要背斜及编号 10. 主要向斜及编号 11. 主要断裂及编号 12. 一般断裂 13. 地质界线 14. 环太波浪系统构造及编号 15. 特提斯波浪系统构造及编号 (Jb、Jt 分别为波疏、波密带)

属于特提斯波浪系统的构造包括:

- ① 山前断裂带——
- (1) 太华波峰带，即所谓的太华隆起带 ($Tt_4^{3i}Ct_4$)
- ② 朱家沟——巡马道断裂带——
- (2) 金堆城——杜关波谷带 ($Tt_4^{2b}Ct_4$)
- ③ 朱家村——银家沟断裂带——
- (3) 石门——柳关波峰带 ($Tt_4^{2i}Ct_4$)
- ④ 石门——马超营断裂带——
- (4) 夜长坪——灵口波谷带 ($Tt_4^{1b}Ct_4$)

- ⑤谢村——庙湾断裂带——
 (5) 西坡——竹园沟波峰带 ($Tt_4^{14}Ct_4$)
 ——⑥铁炉子断裂带——

属于环太波浪系统者有:

- (1) 大夫峪——辋川波谷带 ($Tt_4Ct_4^{3b}$)
 ——⑦金堆城——青岗坪断裂带——
 (2) 潼峪——牧护关波峰带 ($Tt_4Ct_4^{21}$)
 ——⑧黑山断裂带——
 (3) 桐峪——落南波谷带 ($Tt_4Ct_4^{2b}$)
 ——⑨木龙沟断裂带——
 (4) 朱阳镇——黄坪波峰带 ($Tt_4Ct_4^{14}$)
 ——⑩西峰断裂——
 (5) 银家沟——竹园沟波谷带 ($Tt_4Ct_4^{1b}$)

据上所述,东桐峪金矿恰好位于太华波峰带与桐峪——落南波谷带相交汇的桐峪构造段内,在长期复杂的构造活动及构造变形的作用过程中,该构造段由于受到区域上相邻构造单元隆起与拗陷频繁交替活动的影响,加上本单元内褶皱与断裂活动的频繁交替作用,因而使得该构造段地史环境多变、构造活动复杂,成矿作用频频发生,最终发展演化成了有利的成矿部位。

第二节 控矿构造特征

一 构造应力场的特征

由于中国及全球构造活动均受到环太和特提斯两大波浪系统长期作用的影响,因而在分析和研究任何一个地区的构造应力场的特征时,都不能忽视这两大波系的影响作用。小秦岭地区的地质构造演化在两大波系共同作用的影响下,受到周围东、西、南、北四部分构造块体活动的影响和制约。北部受到由北向南的挤压而形成逆时针方向旋扭的构造应力场;南部受到由南向北的挤压而形成顺时针方向旋扭的构造应力场;西部形成由西南向北东挤压的构造应力场;东部形成近南北向逆时针扭应力偶为主的构造应力场。这几个方向的应力场所包含的应力在地质构造活动的历史中,以南北向构造应力为主共同作用(在燕山期前后达到构造应力活动的鼎盛时期),影响和控制着整个小秦岭地区的构造变形、构造格架的形成及岩浆活动以及金元素的活化迁移和富集。最终使得小秦岭地区发展演化成为目前的构造特征。区域构造形迹反映了燕山期前小秦岭地区长期受华北地块与华南地块的挤压,形成了巨大的纬向系褶皱——断裂带,并发育北东及北西两组配套扭裂面,组成了矿田的基本构造骨架。燕山——喜山期构造及岩浆活动强烈,燕山早期在南北向逆时针力偶作用下,形成新华夏多字形断裂构造;燕山晚期——早喜山期,表现为新华夏的力偶与纬向系南北挤压带联合作用,形成北东向的褶皱及断裂构造。

另外，小秦岭地区在燕山期受南北向应力作用的同时，还受东西向应力的作用和影响。由于作用力的波浪状传播，使其所产生的构造形迹从东到西呈逐渐减弱的趋势。其后，不同构造单元之间和构造单元内不同次级地块间的断裂构造继续活动，再加上新生的北东—北北东向扭压断裂构造及南北向左行挤压剪切断裂的叠加，使区内出现了近东西向、北东向和近南北向断裂构造带分布的构造特征。但由于近东西向断裂构造的生成时代早、活动期次多，因此，其规模（长度）一般较其它方向大、连续性好。

根据以上构造应力场特征的分析可知，小秦岭地区区域成矿时期主要为燕山期及燕山晚期，主要控矿构造体系应为南北向构造应力作用下形成的东西向或近东西向构造体系，其次才为南北向或近南北向、北西向、北东向等构造体系。

二 主要构造体系及其特征

（一）东西向及近东西向构造体系

小秦岭金矿田位于北东向环太平洋波浪系统和北西向特提斯波浪系统交汇作用所形成的秦岭昆仑纬向构造体系与祁吕贺南山字形构造前弧东翼、新华夏系第三隆起带及北西西向的西域系等几大构造体系交汇处。区内主要构造形迹展布特征以东西向构造为主，如小秦岭复式背斜由金罗斑——大月坪——老鸦岔主背斜、次级褶皱七树坪向斜、五里村——安家窑背斜等组成（图 4-2）。其褶皱轴线方向东部为 60° ，中部 285° ，西部为 270° ，呈反“S”形展布。该复式背斜为短轴背斜，西于太峪口倾没，东至西娘娘山呈指状倾没。金罗斑——大月坪——老鸦岔主背斜为一不对称背斜，北翼较为开阔而南翼褶皱紧闭，局部向北倒转，其次级褶皱较为发育。在七树坪向斜、五里村——安家窑背斜的翼部，可常见规模更小的次一级褶皱构造分布。

断裂构造除两条近东西向边界大断裂外，区内规模最大的断裂组，主要分布于褶皱的翼部及轴部，呈平行对称展布，多沿地层组界面岩性差异带（矿源层部位）产出。根据其于地层产状关系可将其化分为两个类型：第一为层间断裂，是本组断裂的主要产出形式，由层间片理化带、糜棱岩带组成，主要产于褶皱翼部。第二为切层断裂，主要产于褶皱轴部，如老鸦岔背斜轴部的断裂束，它在东端浅部切割背斜轴、向深部又沿层间展布；在两端则明显切割地层，本组断裂的宽度一般为几米至几十米，走向上波状弯曲、分枝复合、尖灭侧现明显，而倾向上波状弯曲幅度较小。断裂带内部构造岩发育，常见糜棱岩、角砾岩、构造透镜体、构造片岩及断层泥砾岩等。表明断裂经历了压性、张性及压扭性三次以上的力学性质转化。断裂带内各类脉岩十分发育，常见辉绿岩脉、辉绿玢岩脉、伟晶岩脉、长英岩脉及石英脉等。含金石英脉在断裂带中断续分布，分段集中。本组断裂为区内最主要的控矿断裂，它们控制着区内金矿带的展布和所有重要金矿床的产出，对金矿体的形成具有决定性意义。

（二）北东向构造

北东向构造在矿区南部发育程度较高，形成了一系列北北东至北东向的构造带，这些构造带以叠加、利用和改造的方式作用于纬向系构造带，形成一系列中等规模的北北东至北东向挤压片理化带、压扭性断裂及横跨褶皱。北东向构造带有利于区内矿体形成。有时亦能形成较大规模的矿脉，如东桐峪矿区的 Q12 号矿脉。

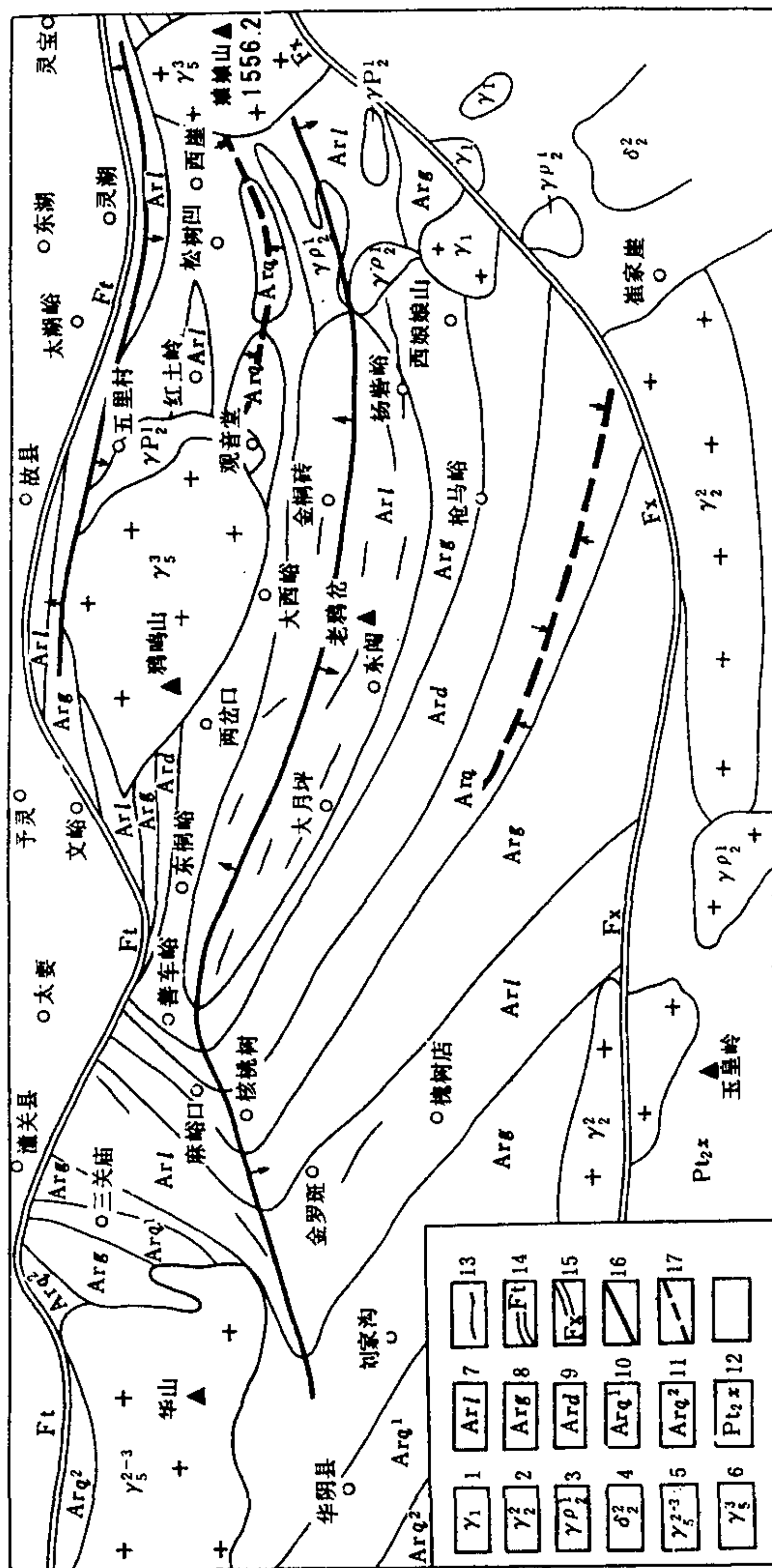


图4—2 小秦岭地区金矿地质略图(据栾世伟, 陈尚迪等, 1993)

1. 嵩阳期花岗岩; 2. 晚晋宁期花岗岩; 3. 伟晶状花岗岩; 4. 晚晋宁期闪长岩; 5. 早燕山期花岗岩;
6. 晚燕山期花岗岩; 7、8、9、10、11分别代表太华群西峪组、观音堂组、洞沟组、枪马峪组下段及上段; 12. 熊耳群;
13. 主要矿脉; 14. 太要深断裂带; 15. 小河深断裂带; 16. 背斜(形)轴向; 17. 向斜(形)轴向;

(三) 北西向构造

北西向构造在区内不发太育，规模较小，在小秦岭地区仅发现两条断裂带，斜切五里村——安家窑背斜及七树坪向斜，为高角度平行断裂束，有辉绿岩脉、花岗岩脉及石英脉分布，在局部地区形成较小规模的矿体或矿化点。目前，东桐峪矿区仅在盲中段发现一小矿体，其金品位较高。

以上介绍的为区内主要的控矿构造，除此外南北向及仅南北向断裂亦有发育，只是目前在东桐峪矿区内还未发现有此方向构造控制的矿体存在。

第三节 控矿构造力学性质及其演化特征

东桐峪金矿区内主要含脉（矿）构造带（图4-3）按产状大致分为两组，走向近东西组和走向北东组。走向近东西组构造带，厚度较大，结构面平直，具舒缓波状特征，岩性多为片麻岩及角闪岩，属以压为主，局部兼具扭性特征的构造带（表4-1）以 Q8 号脉为典型代表；走向北东组构造带，厚度中等，结构面平直，属以扭压性为主的构造带，以 Q12 号脉为代表。

图4-3 力学性质示意图

1: 20000

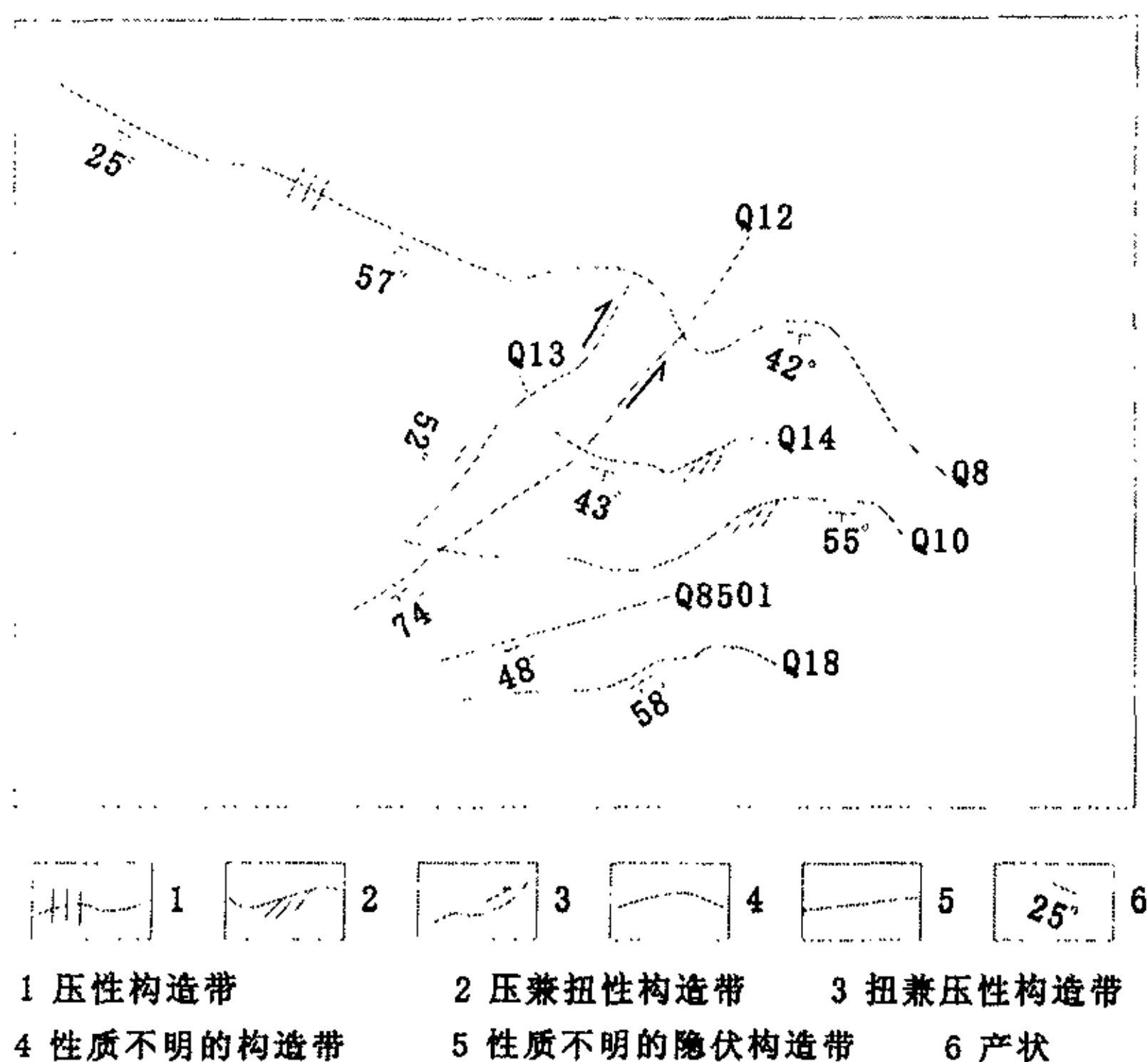


表 4-1 东桐峪金矿主要含脉构造带运动学特征统计表

产 状 (度)			代 表 脉 号	上 下 盘 相 对 运 动 情 况	构 造 性 质	应 力 场
走 向	倾 向	倾 角				
70—110	160—200	30—60	Q8 Q10 Q14	以压为主, 微带顺时针方向的扭动。 南盘上升, 北盘下降, 成为压扭性逆 断层。	压 兼 扭	早期北东 方向构造 应力场(南 北向逆时 针方向扭 动的力偶 作用) 晚期北西 方向构造 应力场(南 北向顺时 针方向扭 动的力偶 作用)
	350—20	45—90	Q01	北西盘(上盘)向南东方向斜升, 南 东盘下盘向北西方向斜落, 形成压扭 性逆断层。		
30—35	120—140	60—85	Q12	成矿期以带有轻微逆时针方向扭动 的扭压性为主, 南东盘(上盘)向北 西方向逆冲, 北西盘(下盘)向南东 俯冲, 为扭压性逆断层。	扭 兼 压	
	310—325	15—65	Q13	逆时针方向扭压, 北西盘(上盘)向 南东方向斜升, 南东盘(下盘)向北 西方向斜落, 形成压扭性逆断层。		

需要说明的是, 对表中所列上下盘相对运动的特征, 并不是绝对的, 因为构造带的产生是随区域性构造活动而产生的, 但区域上构造运动都具有周期性多次活动的特征(甚至到目前为止, 区域构造活动仍未停止), 因而构造带的运动也会随区域构造活动的性质、方向等有所不同, 表中所列举的运动特征为形成含矿脉体时的主要运动特征, 它并不代表地史上各期构造活动的所有特征。

关于东桐峪矿区控脉(矿)构造力学性质的演化, 本文仅就具有代表性的 Q8 号矿脉所在断裂构造作以简介:

1. 燕山期以前: 区内虽有纬向、北东向和北西西向构造应力场交替占主导地位, 但因区域构造以纬向构造为骨架, 故在此主要讨论纬向构造。在纬向构造应力场(南北向挤压力的应力场)作用期间, 由于东桐峪金矿 Q8 的总体走向线与压应力作用线不垂直, 但接近垂直, 它表现为稍带有顺时针方向扭动的压性结构面。形成上盘上升的以压为主的扭压性逆断层带。由于它比较古老, 后期又经历多次改造, 形成的构造空间已十分不明显, 仅以其片理的存在和主构造面呈舒缓的波状起伏推知其存在。

2. 燕山期: 成脉(矿)前夕的北东向构造应力场作用时, Q8 早期形成的以压为主的扭压性逆断层被利用和改造。即利用其构造结构面, 但改变了其原有的力学性质, 因而改造了原构造结构面。因其构造的总体走向与张应力方向接近垂直, 但并非完全垂直, 故表现为以引张为主的稍带顺时针方向扭动的张扭性正断层。即上盘(南盘)向南西方向斜落, 而下盘(北盘)向北东方向斜升。由于构造面的波状起伏, 使其走向在 280° — 300° 的地段内出现相对引张, 而其它走向地段内相对紧闭。因此, 造就了走向范围在 280° — 300° 内比较宽大且向南东方向侧伏的构造空间。由于是上盘下落的正断层, 因此构造空间在构造倾角较陡地段出现。

3. 燕山末期(成脉成矿期): 北西西向构造应力场作用时, 再次利用原构造结构面, 改变其力学性质。由于该含脉断裂构造带的总体走向大致垂直主压应力方向, 使构造结构面的上盘先后向 15° 方向和 30° 方向上冲, 下盘相对向 195° 方向和 210° 方向俯冲。

即先表现为顺时针方向扭动，后表现为逆时针方向扭动，但仍以挤压为主，成为以压性为主的微带扭动的扭压性逆断层。此次构造活动使早已存在的燕山期构造活动生成的构造空间变小，方向也有轻微改变。同时产生了近于水平或稍向南西侧伏的比较狭长的构造空间。此种新生的构造空间多出现在构造倾角较缓的地段。

前述燕山期和燕山末期，即成脉（矿）前夕和成脉（矿）期形成的构造空间结合起来，共同组成容脉（矿）空间。这种组合空间即不在构造倾角最陡处，也不在构造倾角最缓处，而是在构造倾角中等地段，但却限制在走向为 280° — 300° 的区段内。由于各矿化阶段形成的含金石英脉的含金性差异较大，而成矿阶段的构造活动主要产生了产状为 $190^{\circ} \angle 40^{\circ}$ 左右和 $205^{\circ} \angle 40^{\circ}$ 左右的压、压扭性断裂面，使其充填了含多金属硫化物的石英脉。所以使 Q8 号矿脉的石英脉体和金矿体以小侧伏角向西侧伏为主，而脉体厚度以中等倾角地段最厚，矿化强度以走向 280° 和 295° 的中等倾角和缓倾角时较强（图 4-4）。

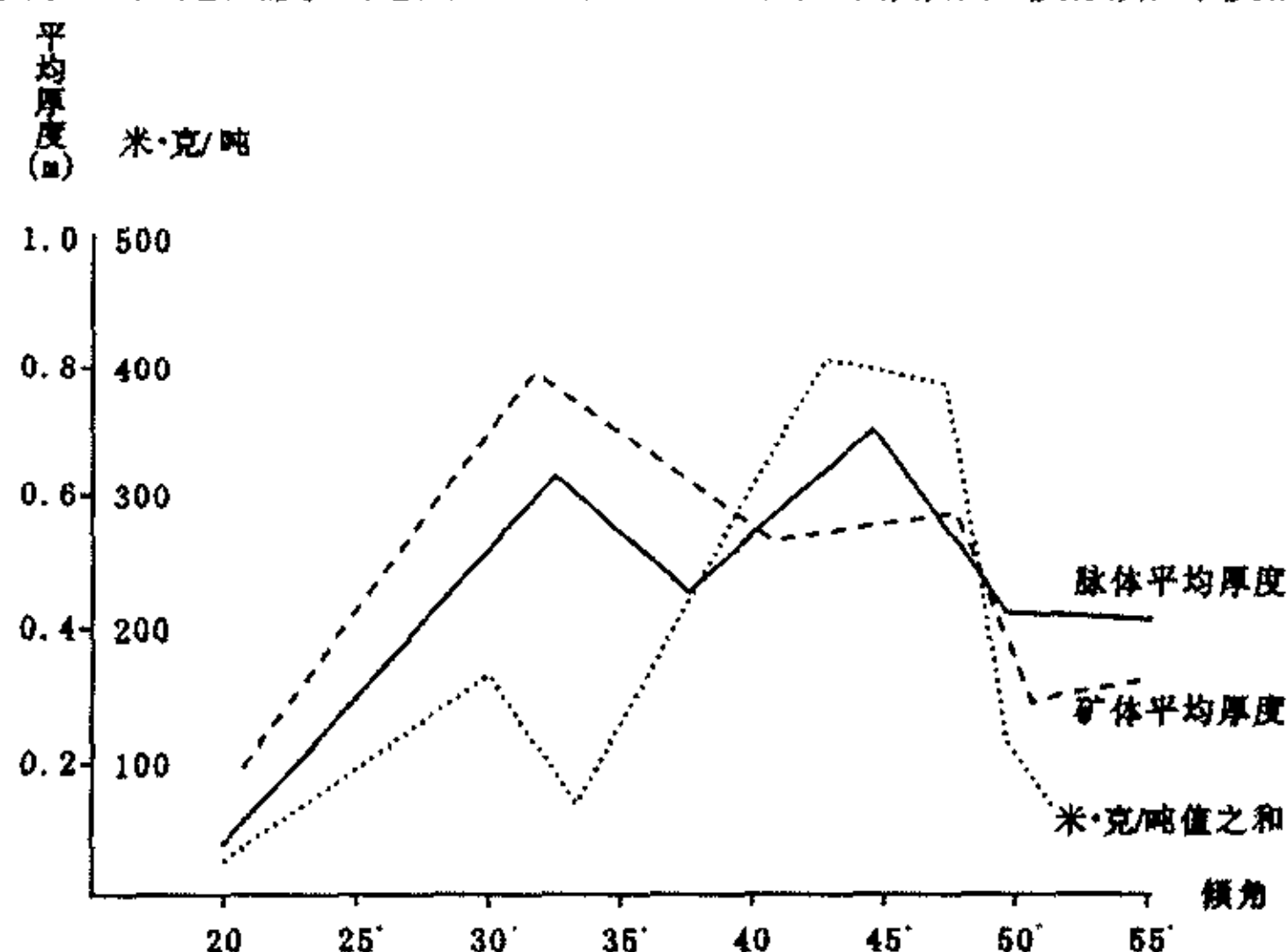


图4-4 东桐峪金矿Q8倾角与脉体和矿体厚度及米·克/吨值关系图

4. 燕山期后：北西西向构造应力场继续活动，表现了继承燕山末期的继承性活动，一般对脉（矿）体的破坏性不大。

通过对 Q 8 号矿脉分析和各组含脉断裂构造带中石英脉体和金矿体赋存特征的总结，可得出如下结论：脉（矿）体的赋存位置与构造产状及成脉（矿）前夕和成脉（矿）期含脉构造两盘的相对运动方向（力学性质）有极为重要的关系。石英脉体和矿体多出现在构造发生、发展演化过程中相对引张的地段，其侧伏方向与构造两盘相对运动方向垂直。以成脉（矿）期的构造活动方向起主导作用，成脉（矿）前夕的构造活动方向起辅助作用。往往在前后两次构造空间相叠加的部位就是脉体与矿体出现的部位，而前后两次构造空间相抵消的部位，则是脉体变薄、矿体尖灭的部位。在前后两次构造活动都处于相对挤压而无构造空间出现的“紧闭”地段，则既无脉体又无矿体出现，甚至热液蚀变也不发育。

第四节 控矿机制

大量的研究资料表明,大型金矿床的形成与断裂构造有着极为密切的关系。如吉林夹皮沟金矿带的发展、演化和分布严格受北西向构造带所控制。该构造带为一大规模的深大断裂带,由多条平行的挤压破碎带、冲断层、动力变质带及岩浆浸入体组成,其形成时间早、活动延续时间长、切割深、延长大、具多期活动的特点。此外,如胶东“焦家式”金矿床、山东平度金矿床、冀东宽城县峪耳崖金矿床等均受断裂构造所控制。而国外特大型和大型金矿床也为断裂构造控制。同样,构造对小秦岭金矿床的控制也主要表现为断裂控制。

一 断裂构造控矿机制

(一) 断裂构造控矿机制探讨

任何一个金矿床的形成,都要经过一个长期的地质演化过程,都是由各种地质因素综合作用的结果。在所有这些地质因素中,断裂构造对于金矿床的形成尤为重要,因为断裂构造不仅是矿液活动的通道和停积场所,而且往往是造成矿质活化迁移和富集的主导因素之一。根据构造在成矿过程中的作用,可将断裂构造分为导矿构造、配矿构造和容矿构造(B. N. 斯米尔诺夫)。

导矿构造:是引导矿液自矿源地进入矿床范围或矿化集中区的主要通道,它具有长期演化活动史、规模大、切割深等特征。如沿区域性深大断裂常断续地分布有矿田和矿床。多数情况下,导矿构造本身不产有矿体,仅有一些热液蚀变或浸染矿化。

配矿构造:又称布矿构造,是矿液从导矿构造向成矿地段运移的构造,多为与导矿构造交错或联接的断裂。它将成矿物质分配到各个容矿构造中去,在很大程度上决定着矿床、矿体(脉)的空间分布规律。有时成矿物质也会在配矿构造中沉淀富集,这样它也有可能成为容矿构造。

容矿构造:亦称含矿或储矿构造,是成矿物质最终沉淀富集成矿的场所,它的空间赋存特征将最终决定矿体(带)的形态、产状,并在一定程度上决定其内部结构构造特征(图4-5)。

导矿构造之所以能对矿液起导通作用,首先是由于它长期活动和规模巨大,由此而影响(改造)两侧围岩范围非常宽广,使其可以接受更大范围的矿质来源。其次是导矿构造切穿地壳深度大。在较深构造层次环境下,受构造动力作用,赋存于矿源层中的金才能活化,并以络合物等形式溶于热液,向压力低的韧性

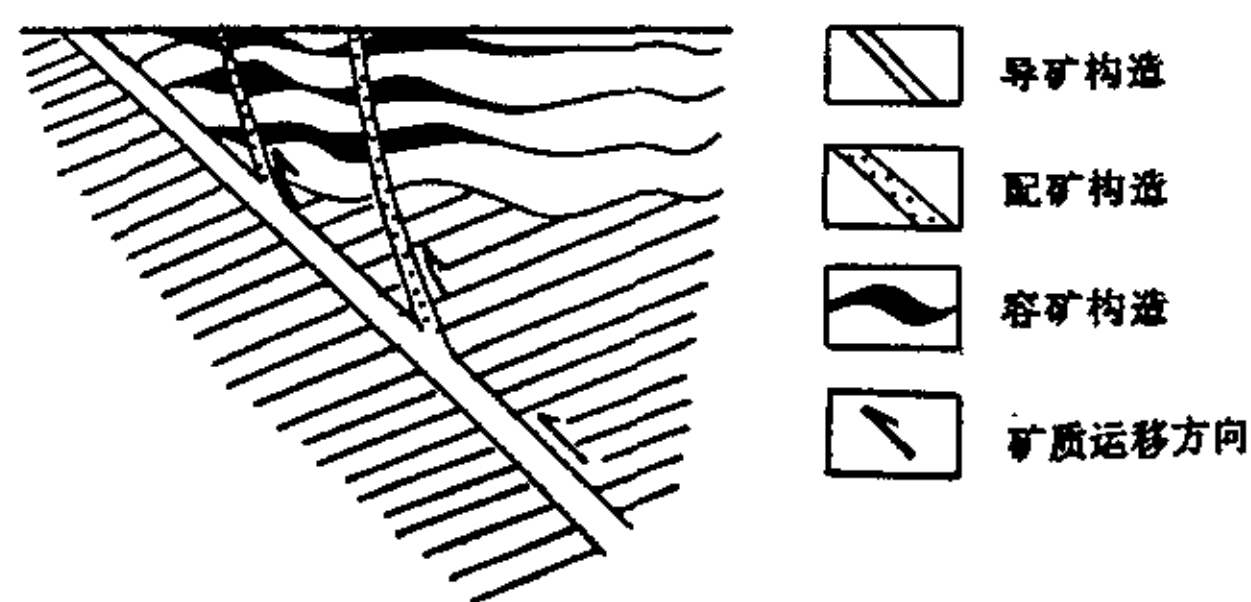


图4-5 导矿、配矿、容矿构造关系示意图

(据B. N. 斯米尔诺夫)

剪切带（处于较深构造层次的导矿构造）内迁移。相对于较浅构造层次，韧性剪切带处于高温高压的物化条件下，溶于热液的金等成矿物质不易沉淀，继续沿韧性剪切带向上迁移。伴随构造活动的发展演化，矿液经过配矿构造，最终进入处于较浅构造层次的容矿构造中，发生沉淀、富集、形成矿体。

（二）断裂构造对金矿床的控制

本文前一节提到东桐峪金矿区位于老鸦岔复背斜的核部，其矿脉沿东西向分布为主，这些矿脉赋存部位均为褶皱隆起时产生的断裂构造带。因此，东桐峪金矿床属于断裂控制为主的金矿床，具体的讲，南北两侧的大断裂组成了区域范围内金矿床的导矿构造，它们在小秦岭山块的隆升、成矿花岗岩的侵入定位和导通深部成矿流体（包括变质流体和岩浆期后流体）方面均具有决定意义（张学仁，1999）；近东西向的褶皱和近南北向的隐伏断裂（图 4-6，据张学仁，1999）组成了区内金矿床的配矿构造，配矿构造的位置及特征决定了矿区内矿脉的分布特征；断裂构造带的舒缓膨大部位，特别是两组不同方向的断裂构造交汇部位成为很好的容矿构造部位。

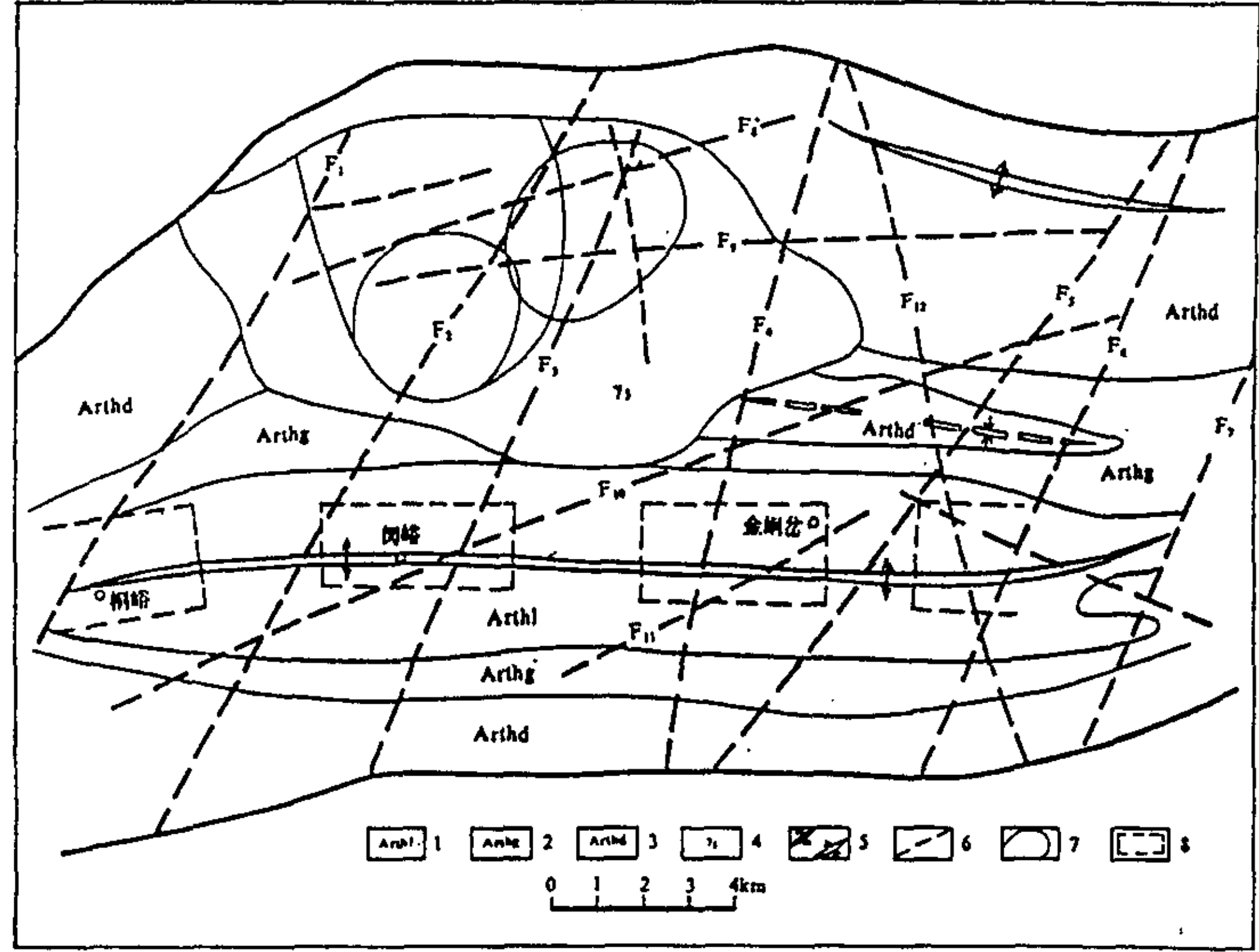


图 4-6 小秦岭金矿区构造纲要图（据张学仁，1999）

1. 阎家峪组 2. 观音堂组 3. 洞沟组 4. 花岗岩 5. 背斜、向斜轴 6. 隐伏断裂 7. 环状构造 8. 矿田

二 韧性剪切带控矿机制

小秦岭金矿田的边界型断裂经历了早期韧性、中期韧脆性和晚期脆性变形的长期发展演化过程，控制了整个小秦岭金矿带的展布及地质构造的发展演化。

韧性剪切带和深大断裂的活动，沟通了幔壳流体系统，带来了更多的矿源物质，为成矿流体活动提供了更大的运移空间，对成矿极为有利。韧性剪切带不仅为含金流体提供了有效的运移通道和沉淀场所，而且也为成矿流体运移提供了动力；同时，韧性剪切带的演化活动为成矿提供了合适的构造动力和结晶动力学环境；另外，韧性剪切活动过程本身就有富集金元素的作用，其活动过程本身在某些矿区就是成矿的过程。

综上所述，可将韧性剪切带在小秦岭金矿区的控矿意义总结为以下几条：

1. 剪切带及南北深大断裂的长期活动演化，使该区壳幔流体很好地沟通，不仅带来多种矿源物质，而且扩大了流体的活动空间和范围。

2. 韧性剪切带的长期活动使得带内岩石的渗透率提高，这种比较深的大规模断裂构造系统为流体活动起了导流作用，同时也是成矿流体活动的良好通道。

3. 韧性剪切作用是含金流体运移必不可少的驱动力。韧性剪切期间的破裂封闭机制可加速流体渗透 (M. A. Etheridge 等, 1993)，破裂封闭是流体运移的重要驱动力，在每个显微破裂之上都有一个流体压力梯度，这个压力梯度从周围岩石中驱动流体，并且大大加速了流体的运动速度，运动流体把成矿物质带到破裂位置，当流体压力在破裂带释放时，沉淀作用就开始。

4. 韧性剪切带通过构造活动在起伏的不同部位造成对成矿有利的构造动力学环境，剪切带边缘部位在韧性剪切作用晚期的脆性活动中形成中深成热液型金矿，在韧性剪切带附近的引张区或韧性剪切分支断裂与派生断裂的交汇部位，流体、矿汁富集，形成浅成热液型金矿。

5. 韧性剪切带本身也是矿体就位的最佳空间。小秦岭地区南北两条区域性深大断裂在长期发展演化过程中，使其本身就具有金矿化或直接赋存有金矿体，如在河南境内山前断裂中就赋存有工业矿体。

6. 构造地球化学研究的成果表明，韧性剪切带本身是金元素的有利地球化学障。在韧性剪切过程中，含 Fe、Mg、Ca 等元素的矿汁在流体作用下可发生退变质作用，使 Fe、Mg、Ca 等元素从剪切带的糜棱岩中排出。若在剪切带裂隙系统中流入含金流体，成矿流体中的 S^{2-} 、 CO_3^{2-} 、 Cl^- 等负离子就可与剪切过程中排出的 Fe、Mg、Ca 等元素结合产生硫化物化、碳酸岩化、绿泥石化等蚀变作用。金在溶液中主要以硫金络合物或金氯络合物形式迁移。Cl、S 等可与 Fe 结合形成绿泥石、硫化物等矿物沉淀，使金的络合物分解，导致金发生还原沉淀作用。剪切带变形越强烈，带内的蚀变和矿化就越强烈。

7. 韧性剪切带的长期活动演化及后期构造作用的叠加是成矿的有利条件。韧性剪切带的长期活动演化在不同的构造成矿环境下，使得成矿环境条件发生周期性波动式变化，导致成矿作用多期次叠加，这对形成富大的工业矿体极为有利。

此外，金矿体常常产于挤压构造带内叠加有后期脆韧性构造的部位。目前，对大量金矿床的研究表明大多数金矿体都产于断裂构造带中，断裂带内还可见到构造透镜体及糜棱岩等，说明断裂构造曾经经过挤压作用，而且还发现，多数金矿体附近的糜棱岩又

经历过脆—韧性变形，出现有碎裂岩及构造角砾岩，且矿体特别是富矿体往往恰好产于后期叠加的脆—韧性变形地段，体现了后期张性作用对矿化的控制作用。在东桐峪矿区，这种现象极为普遍，金矿体的角砾中常有韧性剪切过程中形成的千糜岩等，还可见到黄铁矿及石英细脉穿插其中，这些细脉脉壁不平整，宽度变化较大，具有张裂特征。

8. 韧性剪切带不仅控制金矿带的展布特征，而且还控制金矿带内矿床的分布和金矿体的产出，是构造控矿的重要条件。

9. 韧性剪切作用对金的聚集和沉淀具有重要意义。韧性剪切对糜棱岩化围岩可产生“净化”作用，使其排出其中的铁、镁、钙等“杂质”，在后期逐步形成石英、长石等“洁净”矿物，在此过程中，围岩内被活化的金进入成矿流体，使其在适宜条件下沉淀聚集形成矿体。

实际上，小秦岭地区金矿床在形成的整个过程中，剪切运动、热液蚀变等构造活动从未间断过，且它们几乎是同时进行、密不可分的。由本章第三节的论述可知，东桐峪金矿床的控矿断裂以压性断裂为主，构造活动的应力以压应力为主，其在矿脉中的显著表现为：含矿石英脉的多次构造活动所产生的构造裂隙均沿压性构造面走向分布，含矿硫化物因受其控制而呈条带状或细脉状沿裂隙分布。受压应力作用的另一表现为：断裂面紧闭，所控矿体总体上呈薄板状，但在断面由陡变缓处形成局部引张空间，在成矿时表现为减压降温环境，便于成矿物质沉淀聚集，矿体在此处相对膨大。这一点在 Q8 号脉表现尤为突出。此外，断裂在多次构造活动中，其力学性质会发生变化，从而提供了较大的矿质沉淀空间。矿体就位往往发生于构造运动的晚期，此时期一方面构造应力场可能发生改变，另一方面即使外力作用方式和方向不变，总体构造应力场状态不变，但由于地质体破裂和变形改变了边界条件，局部应力场将发生较大的变化，这样，已产生的断裂会发生力学性质转化。当压性断裂形成后，因应力释放而产生弹性恢复，断面开放，为成矿提供了更大的空间，从而进一步促进了矿体形成。矿区的控脉断裂在压应力作用下，发生逆冲运动的同时还发生剪切运动，剪切运动在地壳深部产生的韧性剪切带不仅是通过大断裂上升的含矿溶液中含矿物质聚集的天然场所，同时剪切扭动还在一定程度上驱动含矿流体的迁移和富集。因而，韧性剪切带对成矿可以起到双重的控制作用。

当然，在金矿床形成的漫长地史时期，构造运动的发生、演化过程并非总是保持同一发展速度，而是随着区域范围或全球范围内构造运动的产生、发展、演化而进行着时动时静、时快时慢的周期性波浪运动。

总之，一个金矿床的形成并非一蹴而就，都是在漫长的地质演化过程中波浪式发展壮大的，控矿构造也非一次两次就能形成，也需经过一个周期性多次活动的长期过程。从发展的观点出发考虑，控制矿床（体）形成过程的每一次构造活动的产生、发展都是在前一次构造活动的基础上进行的，都包含有对前期构造活动结果的继承和积累；而每一次的成矿作用也都是在每一次成矿作用的基础上进行的，都包含有对前一次成矿作用结果的继承和积累。因此，前述的导矿构造、配矿构造、容矿构造三者的划分以及脆性构造、韧性构造、脆—韧性构造等的划分只是人为研究方便的需要，它们之间从严格意义上讲，并没有严格的区分界限。

第五章 构造控矿规律及成矿预测

构造规模的大小、性质及运动学特征决定着其所控矿床与矿体的规模及其分布规律。根据构造发育的规模,可将构造分为全球性构造、区域性构造、矿田及矿床范围的构造。不同级别、不同规模的构造,对成矿起着不同的控制作用,它们分别控制了成矿区域内矿带、矿田、矿床以及矿体的产出和展布。

第一节 区域构造控矿规律

区域上受南北两条大断裂及其间的复式背斜构造活动的控制和影响,使得本区与东西向构造带有成因联系的断裂构造也最为发育,充填在其中的石英脉数量最多,并受其严格控制。据其分布密集程度,由北到南可分为四个矿带,即北矿带、北中矿带、中矿带及南矿带(图5-1),且四个矿带之间具有等距性规律,相邻两个矿带的间距约为4.5公里;对于不同的矿带,沿其东西走向又可分为数个(矿田)密集区,如可将中矿带分

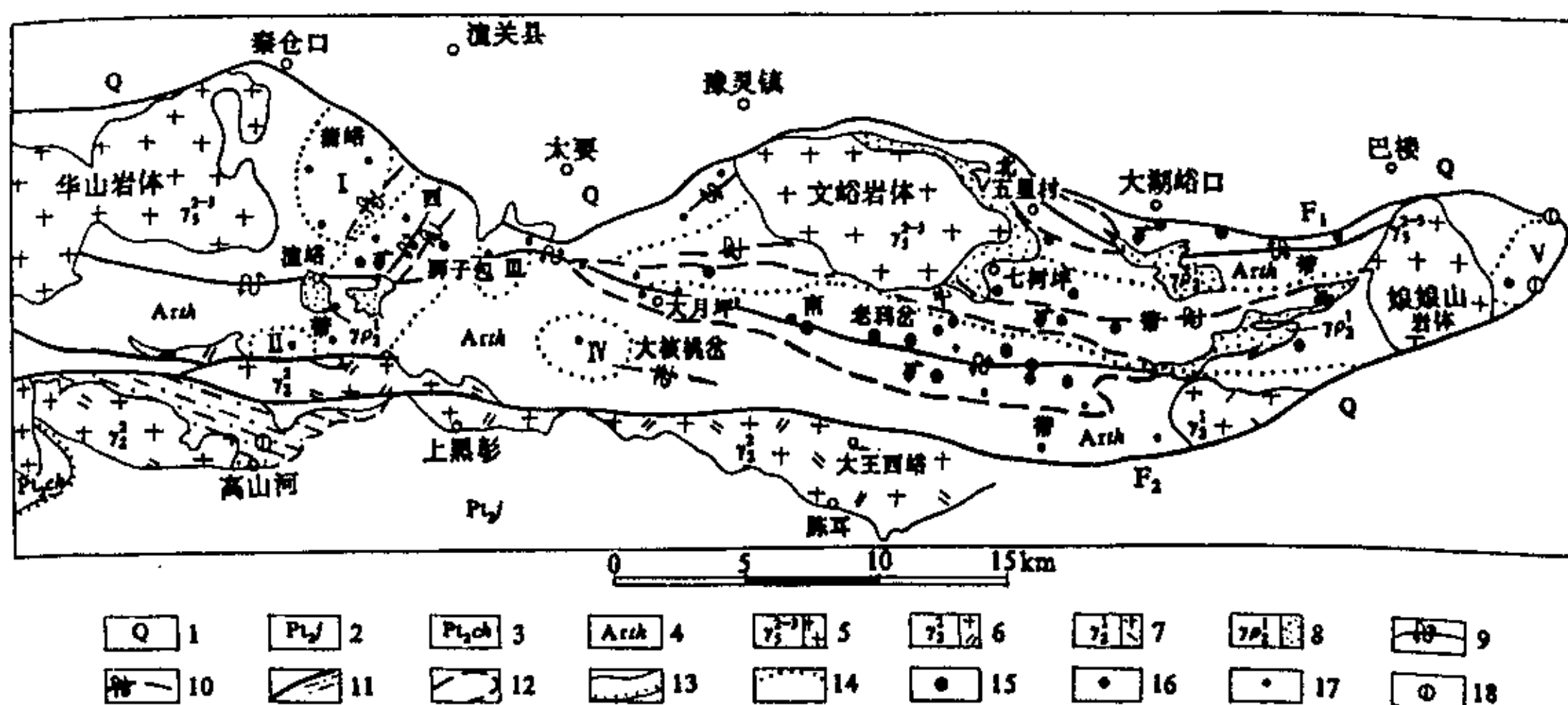


图5-1 小秦岭金矿带、矿脉集中分布图(据苏振邦等, 1996)

1—第四系; 2—中元古界蓟县系; 3—中元古界长城系; 4—太古宇大华群; 5—燕山期花岗岩; 6—熊耳期花岗岩; 7—中岳期花岗岩; 8—中岳期伟晶状花岗岩; 9—背斜构造; 10—向斜构造; 11—区域边界断裂及韧性剪切带; 12—界面滑脱带; 13—地质界线及地层不整合界线; 14—矿带集中区边界线及集中区编号; 15—大型金矿(石英脉型); 16—小—中型金矿(石英脉型); 17—金矿点(石英脉型); 18—构造破碎蚀变岩型金矿

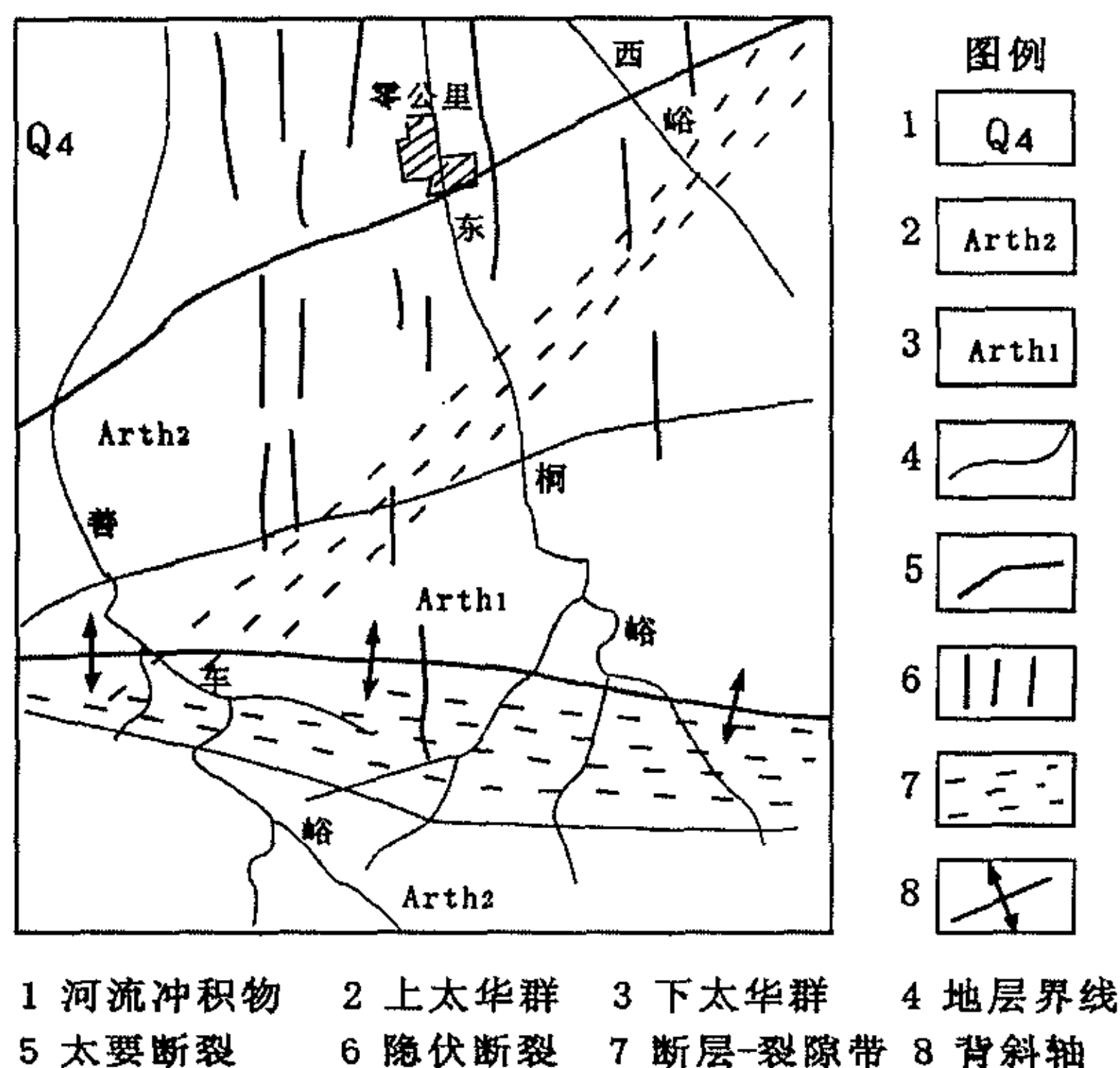
为西潼峪、麻峪、东桐峪、闵峪、金硐岔等成矿密集区,它们多分布与背斜轴的波状起伏或倾没地段,相邻间距约为7.5公里,且位于背斜轴部的密集区形成的矿床规模较大,探明储量也多,远离背斜轴部的密集区则相反,矿床规模小储量少。

桐峪矿区含金构造带可分为南北两个带和一个密集地段：北带分布在碾头岔—大崂峪脑连线以北的浅山区，处在背斜北翼，面积约 11 平方公里。带内有含金构造带 20 多条，东西向最发育。受山前断裂的影响，此带中的含金构造带倾向多向北或北西；南带分布在大月坪—西木峪沟连线以南至小秦岭梁间，处在背斜南翼，面积 13 平方公里。含金构造带近百余条，走向东西最发育，倾向以向南为主。碾头岔—大西岔密集地段：范围北起碾头岔沟，南至大西岔沟，东由桐峪沟口起，西至桐峪西梁，面积约 3.5 平方公里，位于背斜轴部，有 50 余条含金构造带，北西、北东、南北及东西走向构造带均有发育，但以走向东西（倾向 $160^{\circ}-200^{\circ}$ ）走向长度大于 1000 米的 Q8 号矿脉。

另据张学仁对桐峪地区断裂构造系统最新的研究结果表明，控制桐峪地区金矿田的构造因素，除了小秦岭区域范围内的几个大型构造外，还与一组近南北向的隐伏断裂和北东、北西向的两条断层-裂隙带有关，如图 5-2 所示。

图5-2 东桐峪地区构造纲要图（据张学仁，2001）

1:100000



从图 5-2 中可以看出，近南北向的隐伏断裂同区域北侧的太要断裂相交，与北东、北西向的两条断层-裂隙带共同构成了桐峪地区复杂的断裂构造系统。该断裂构造系统不仅造就了大量的容矿空间，而且在构造活动时期有利于形成矿液并促使矿液运移到有利的断裂空间发生沉淀富集。因此，无论从区域构造还是从隐伏断裂来分析，断裂构造都应成为桐峪地区构造控矿的主导因素。

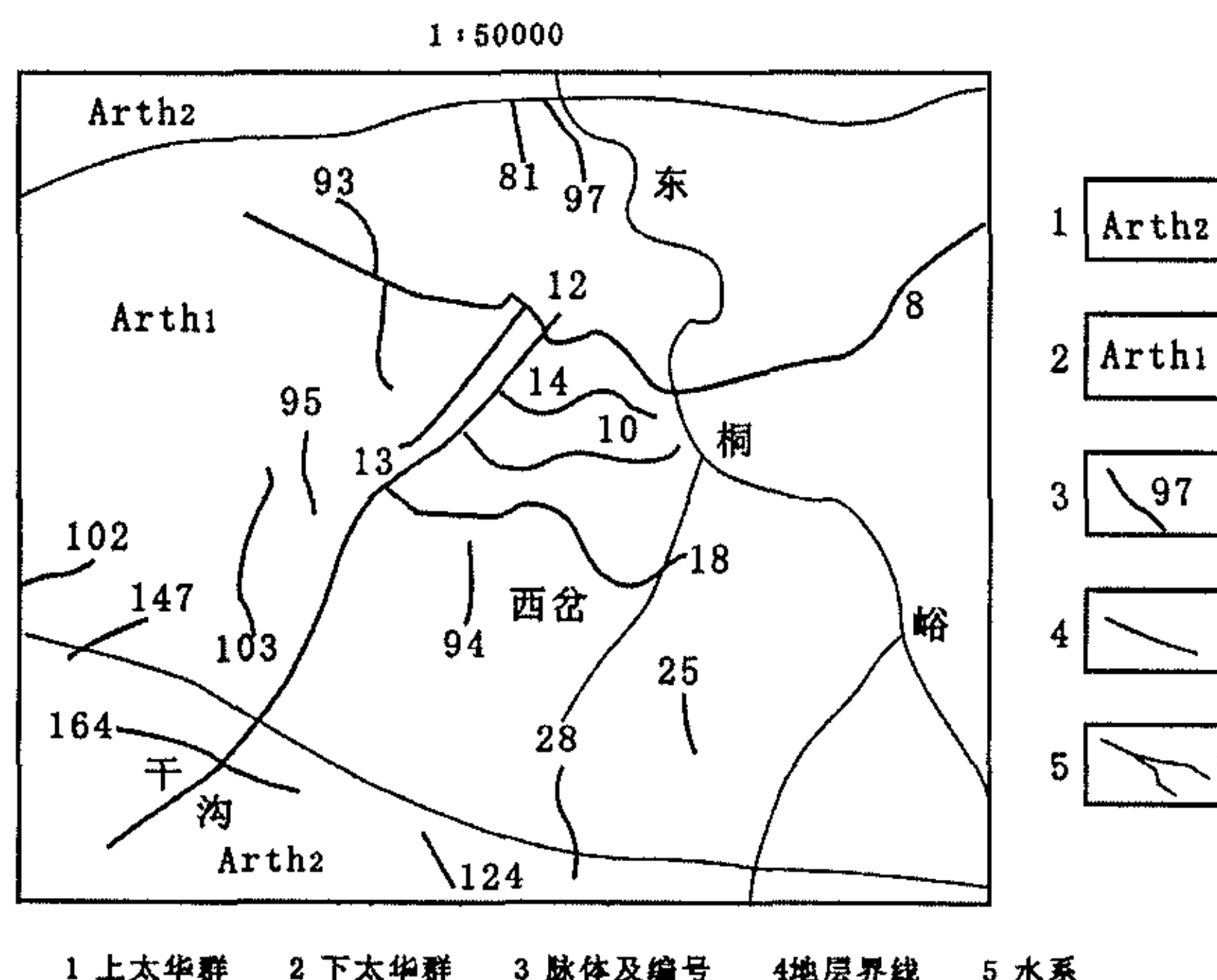
第二节 矿田构造控矿规律

东桐峪金矿田中矿脉均分布于断裂构造带中，因此，矿田断裂构造的特征及分布规律必然决定了本矿区矿脉的分布特征和规律。

所谓矿田构造，是指在矿田中控制矿床形成和分布的构造。根据东桐峪金矿区断裂构造控矿的具体特点，本文以断裂构造控矿规律为主要研究目标。

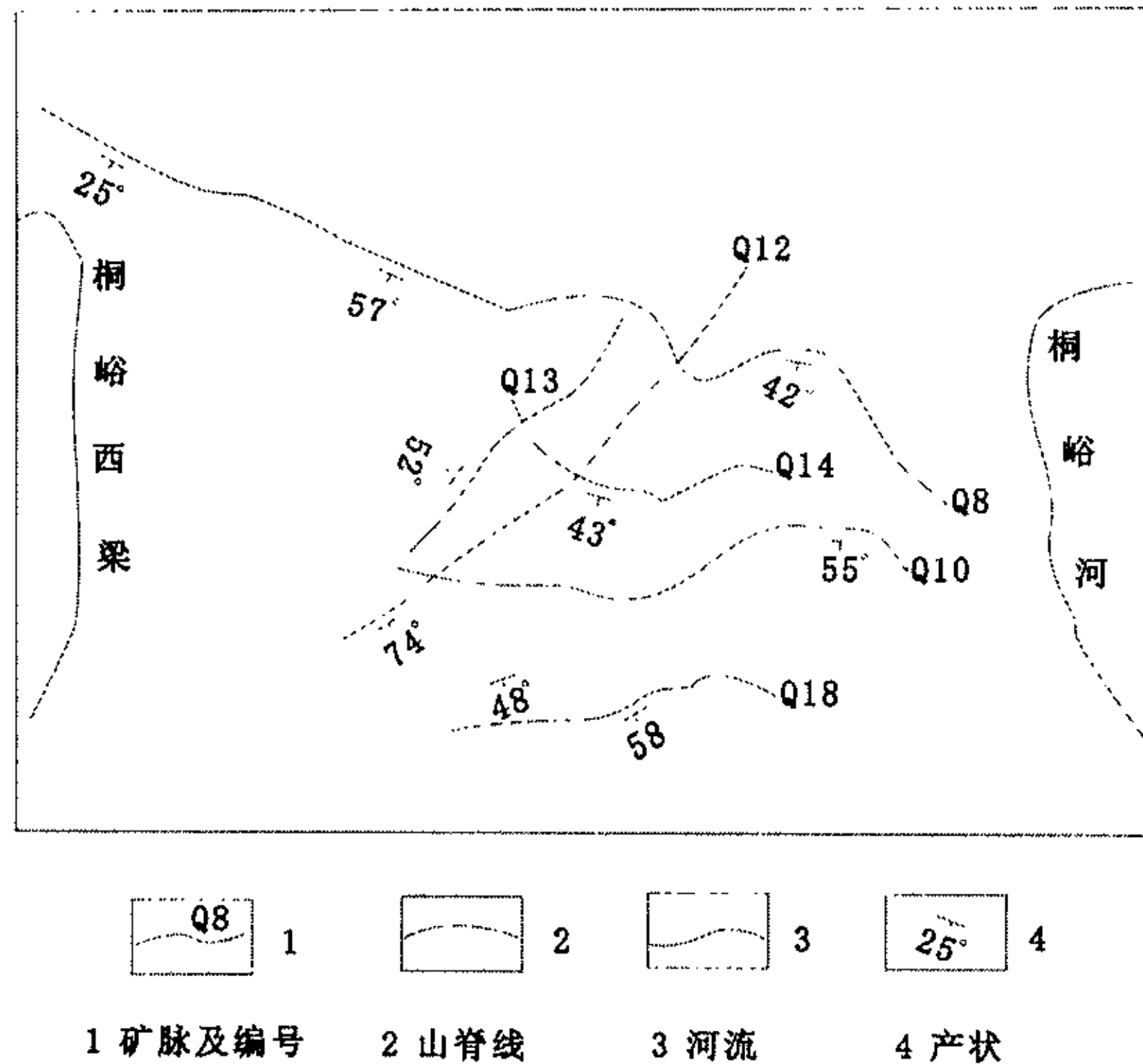
东桐峪矿区矿田断裂构造是在南北向压应力作用下形成的一套断裂组合系统，该断裂系统和褶皱一起共同构成了区内较为完整的构造应力系统，表明了它们形成的同时性和同序次性，如图 5-3 所示。此系统中的断裂构造多被矿液充填，目前表现为石英脉形

图5-3 东桐峪金矿田断裂构造分布图



式，其中近东西向的扭压性断裂，包括 Q8 号脉、Q14 号脉、Q10 号脉、Q18 号脉等。它们在走向和倾向上均呈舒缓波状展布，倾角多变化于 $40^{\circ} \sim 60^{\circ}$ 之间；北东向扭性断裂，如 Q12 号脉、Q102 号脉等，它们在走向上呈追踪原始剪切网络中两组裂隙而形成，因而走向呈现为折线状，且其倾角一般大于 70° ；北西向扭性断裂，与北东向断裂共轭，包括 Q93 号脉、Q95 号脉、Q103 号脉、Q84 号脉等。以上所述断裂中，以近东西向的断裂最为发育，其数量多、规模大、延伸长。如 Q8 号脉，东西走向延长达 3000 米以上。其次为北东向发育的断裂，如 Q12 号脉，沿走向可达 2000 余米。其它方向的断裂构造亦有零星发育，但控矿意义不大。笔者着重研究了东桐峪金矿含矿断裂的分布特征，并绘制了东桐峪金矿矿脉分布图，如图 5-4 所示。

图5-4 东桐峪金矿矿脉分布略图
1:20000



从图 5-3 和图 5-4 可以发现，东桐峪矿区断裂分布在平面上具有很大的不均一性。如东西向构造中，Q14 号脉、Q10 号脉、Q18 号脉等，远比同方向的 Q8 号脉小得多，而且也不像 Q8 号脉那样，具有长距离的贯通性，它们仅局限于 Q12 号脉以东（注：此特点据张学仁研究认为与边界条件差异及其产生时受到的围压较大、生成顺序上又迟于 Q12 号脉有关），它们与 Q8 号脉一起构成了一组近东西向的矿脉组，其中的相邻矿脉在平面分布上以近 250 米的间距平行排列；对于图 5-4 中北东向的 Q13 号及 Q12 号脉的研究及生产实践结果表明，仅倾向东南的 Q12 号脉含矿性较好、赋存有较大规模的工业矿体，而倾向北西的 Q13 号脉，不仅含矿性较差，而且规模也比 Q12 号脉小得多；北西方向上目前尚未发现有工业价值的矿脉；此外，区内还发现有走向北北东的矿脉，其产状较平缓，倾角变化于 $5^{\circ} \sim 20^{\circ}$ 之间，平均大约 15° ，如 Q971 号脉（图中未标出），其形成可能与褶皱活动中层间出现滑动虚脱有关。

由上所述可知，区域断裂构造与矿田断裂构造共同作用决定了东桐峪金矿田的规模及特征，而矿田内部断裂构造的数量、规模及分布特征又决定了矿田内部矿脉的产生、发展、演化和分布规律。

第三节 矿床构造控矿规律

一 断裂构造控矿规律

矿床构造是指矿床内部决定矿体产出和分布的构造。东桐峪金矿的矿床构造同本区矿田构造相一致,均由断裂构造系统构成。二者不同之处在于,矿床构造更具体地指含脉断裂中能形成矿体的次级构造特征,而矿田构造主要是指控制矿床形成和分布的构造。矿床构造的特征不但控制着断裂构造中矿体的尖灭再现或歼灭侧现分布,而且也控制着矿体的规模、形态、产状、厚度等,甚至还控制矿体的品位。

桐峪地区断裂构造的交叉部位(构造结)往往为富矿形成和产出的部位,尤其是南北向断裂同近东西向规模较大的构造交汇处,多为大规模富矿体的赋存部位。如位于蒿岔的 Q315 号含金石英脉,正是由于其位于南北向断裂构造与区域内主背斜轴相交汇的构造结处,才使得该矿脉中所含的矿体不仅规模大而且品位高。但这并不能说明所有的交叉部位都能形成富矿,如图 5-4 中的 Q10 号脉与 Q12 号脉相交触,但其并无明显的赋矿现象。这说明,只有当交汇部位同时为各构造带的有利成矿部位时,才有可能在这一部位(构造结)形成较具规模的工业矿体。因此,在研究断裂构造控矿的过程中,应特别注意对相交的各构造带在不同部位的几何形态、力学性质及其演化特征的研究。

断裂的几何形态基本上决定于断裂构造形成时的应力状态,如东桐峪金矿区近东西向的脉体是在压应力作用下形成的,因而其断面在走向和倾向上均显示舒缓波状;而北东向的脉体,虽然在总体上追踪北东、北北东向的节理,但其在具体的某一方面上,脉面的起伏并不明显,如 Q12 号脉。

根据前文的论述,东桐峪金矿床的主体分布于各含脉断裂与两条断层-裂隙带的交汇部位(图 5-2),总体上呈带状展布。在北侧的北东向断层-裂隙带上, Q8 号脉以近东西向与之斜交,形成一个向南西伸展的线状构造结。在南侧的北西向断层-裂隙带上,自东而西有 Q8501 号脉、Q12 号脉、Q971 号脉和 Q8 号脉与之相交,亦形成一北西向的线状构造结。尽管这些脉体的地表位置、标高、构造性质、形态及产状各不相同,且其与构造裂隙带的相交部位及方向多变、深浅不一,但它们均在交汇部位(构造结)上成矿,构成一条北西向的成矿带。在超出或远离断层-裂隙带时,脉体成矿性较差或不成矿。

二 矿体分布规律

东桐峪金矿各含脉构造带中矿体的分布规律因其空间位置及力学性质不同而各不相同。这一点在前文曾经提到,在这里仅对矿区主要含矿构造带所控矿体的分布规律作一简单阐述。

1 矿体沿走向分布规律

近东西向含脉构造带所控矿体由于受到区域压应力场的作用,多随着构造带的波状延伸而呈现周期性等间距分布,且矿体连续性较好,厚度及规模一般较其它方向大,产状较其它方向平缓。如 Q8 号含脉构造带中,自东而西分布着一号矿体、二号矿体和三号

矿体（图 5-5）。矿体间无矿间距在 250~300 米之间，矿体之间的无矿段与相邻的矿体共同构成一个成矿波段，波长约为 500 米。从东到西，矿体随构造带一起向南西方向侧伏，富矿体多分布在构造带波状起伏的扩容地段，位于构造带狭窄地段的矿体，厚度及规模均较前者小。

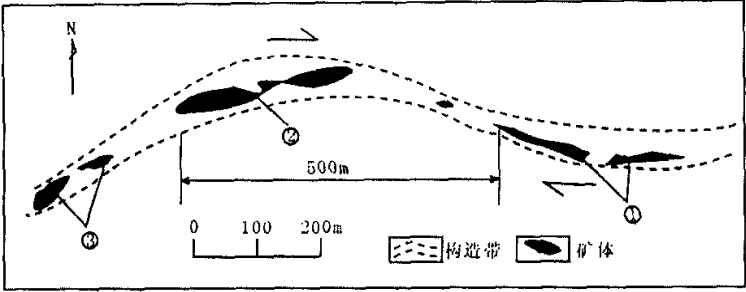


图5-5 Q8号矿脉中矿体沿走向分布特征图

北东向扭压性构造带所控矿体，产状较陡，沿走向无明显起伏现象。厚大的富矿体主要分布在构造带的北东段及中段，如 Q12 号矿脉所控矿体在北东段厚度及规模都比较大，品位也较其它部位高。

2 矿体沿倾向分布规律

走向近东西的矿脉所控矿体沿倾向多分布于波状起伏的较缓部位，即以中等倾角和缓倾角处为主，如 Q8 号矿脉所控工业矿体主要分布于中等缓倾角处。表 5-1 是笔者对 Q8 号脉中矿体在不同倾角处含矿性的统计。需要说明的是，由于矿体厚度一般仅有几十公分，只有当矿石达到一定品位是才能具备工业开采价值，根据实践，一般以 5g/t 为圈

表 5-1 Q8 含脉构造带中倾角与含矿性统计

倾角 ϕ°	35	38	32	44	49	50	40	40	40	42	36	40	58	30	37	56	34	50	40
含矿性	+	+	-	+	+	-	-	-	+	+	+	+	-	-	+	-	-	-	+
倾角 ϕ°	33	44	46	60	42	30	50	48	49	39	46	54	37	45	44	22	48	52	
含矿性	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	-	-	+	-	

“+” 含矿；“-” 不含矿

表 5-2 含矿率与倾角关系统计结果

倾角范围	总测点数 a	总含矿点数 b	含矿点数 c	无矿点数	c/b	c/a
$\phi \leq 35^\circ$	37	23	4	3	17.4%	10.8%
$35^\circ < \phi \leq 50^\circ$			17	8	73.9%	45.9%
$\phi > 50^\circ$			2	3	8.7%	5.4%

定矿体品位下限，因此在表中统一把小于 5g/t 定为不含矿，把大于或等于 5g/t 定位含矿。表 5-2 是对表 5-1 中数据的统计结果，表中的统计结果显示，Q8 号矿脉中所含的矿体以分布于中等缓倾角处为主，这一点与实际情况是一致的。

走向北东的矿脉主要为 Q12 号脉，由于其产状较陡且沿倾向起伏不大，矿体在倾向上的厚度变化也不大，所以其所控矿脉也不像 Q8 号矿脉中矿体那样具有明显的波动性和规律性，仅在局部有利地段成矿性较好。

3 矿体厚度及品位在垂直标高上的变化规律

由于 Q8 号矿脉与 Q12 号矿脉是东桐峪金矿规模最大两条含矿石英脉，因此，笔者不仅实地从上到下对其进行了详细的观察研究，而且在室内对其各中段矿体的厚度及品位变化作了详细的统计与分析，图 5-6 为笔者根据统计分析的结果所作的相关曲线图。

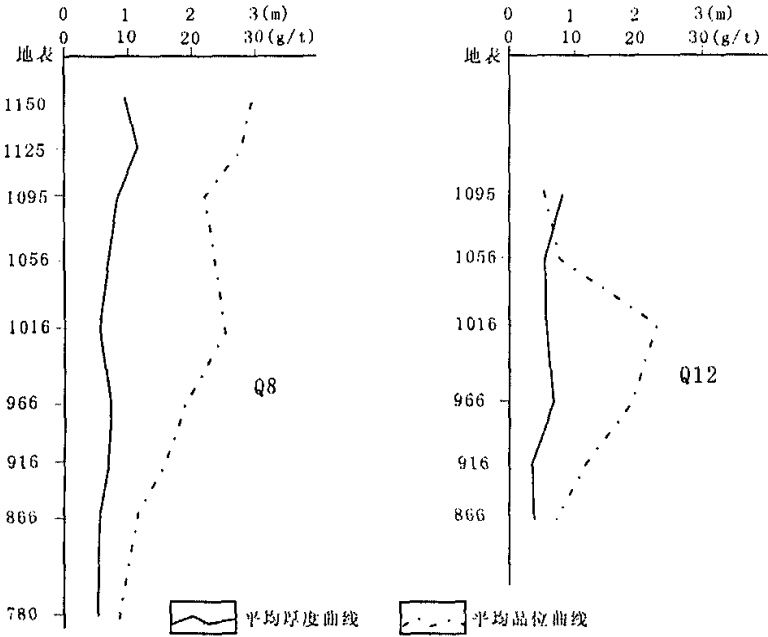


图5 6 矿体各中段平均厚度、品位变化曲线

从图 5-6 可以发现，两条矿脉中的矿体在各中段的平均厚度沿倾向由上而下逐渐变小；两条矿脉中矿体各中段的平均品位变化趋势稍有差异，Q8 号矿脉总体上呈现由上到下逐渐降低的变化趋势，而 Q12 号矿脉则呈现中部偏高上下两端偏低的变化趋势。

以上事实说明矿体分布规律与控矿构造在成矿时的几何学及运动学特征有关。由于 Q8 号矿脉在成矿期受压性逆断层所控制，因此常在倾角较缓的部位发生引张作用而形成有利于矿体赋存的扩容部

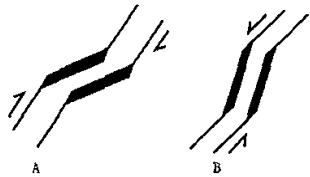


图5-7 断层控矿特征图
A 逆断层 B 正断层

位（图 5-7 A）；而 Q12 号矿脉在成矿期受压应力作用，但局部地段在成矿前期形成构造带时仍显示有扭张性正断层的性质，因此在倾角较陡的地段（北北东段）形成构造扩容而利于成矿（图 5-7 B）。

4 矿体中金属量的富集分布规律

垂向上，富矿段在各脉中均呈分段富集的特点，其中标高 1000 米以上为一大的富矿中段，1000 米以下为另一矿化富集标高段（图 3-5、5-8）。分析图 5-8 还可看出，Q8 矿脉中由东向西矿体从上到下成等间距斜列分布，其中上下相邻矿体的水平间距约为 400 米，垂直间距约为 200 米。

图 5-8 Q8 垂直方向金属量分布趋势图

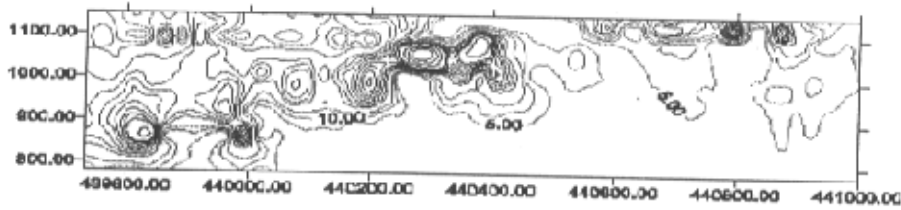
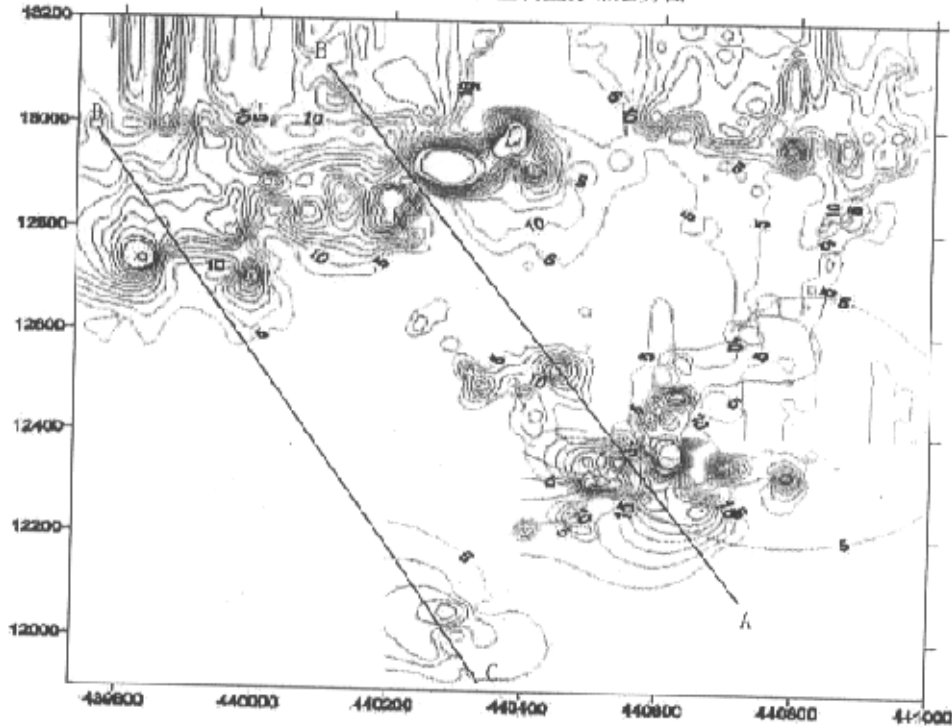


图 5-9 东桐峪金矿金属量分布趋势图



水平方向上,综合 Q8 与 Q12 及矿区其它几条主要矿脉的样品分析结果,并将各矿脉中金的富集趋势相叠加发现,矿区内东西向矿脉金矿化富集总体上有向南西方向侧伏的趋势,另外不同矿脉中金属量富集部位的连线在空间上呈北西向展布(图 5-9 A—B 线所示)。东桐峪金矿区北西向构造不发育,但对金属量在空间上沿北西方向富集这一趋势,笔者认为应对其引起足够重视,它说明金属量的空间富集趋势与构造仍然存在着一一定的成因关系。

三 矿体的定位

东桐峪金矿床中矿体的分布具明显的不平衡性。这种不平衡性首先表现在不同方向的成矿性和成矿规模不同,如近东西向的成矿性和成矿规模优于本矿区其它方向;其次,这种不平衡性还表现在矿体的长短宽窄与厚薄、形态与产状、品位与总金属量等方面。经分析发现,产生这种不平衡性的主要原因在于矿体所在脉体的几何形态与运动学特征形成时的定位机制不同。

据断面几何形态来看,压扭性断裂的波形变化最大,较规整的波状起伏往往形成走向和倾向上矿体的等间距分布(如 Q8),相反,当波形在不同波段和倾角上有较大差异时,或者形成长大矿体和短小无矿段,或者相反。扭性断裂所控矿体一般情况下在空间上变化较小,张性断裂所控矿体往往不规则。

通过对大量的野外构造及室内对光薄片显微构造的观察、分析和研究表明,东桐峪金矿的含脉断裂曾经历过多期次不同性质和方向的构造活动。这些不同期次的构造活动往往有利于矿体的形成和定位,但不同期次的构造活动对形成矿体的作用和贡献是不同的,其中仅有一两期构造活动是主要的成矿期,而其它的构造活动对成矿仅起辅助作用,甚至还有可能不利于成矿。图 5-10 笔者在 Q971 脉中观察时所作的素描图,从图中可以看出此脉体在形成过程中至少发生过五期构造活动:第一期为断裂构造带形成的过程,属于成矿前构造;第二期为石英脉贯入的过程,属成矿期构造;第三期为前期贯入的石

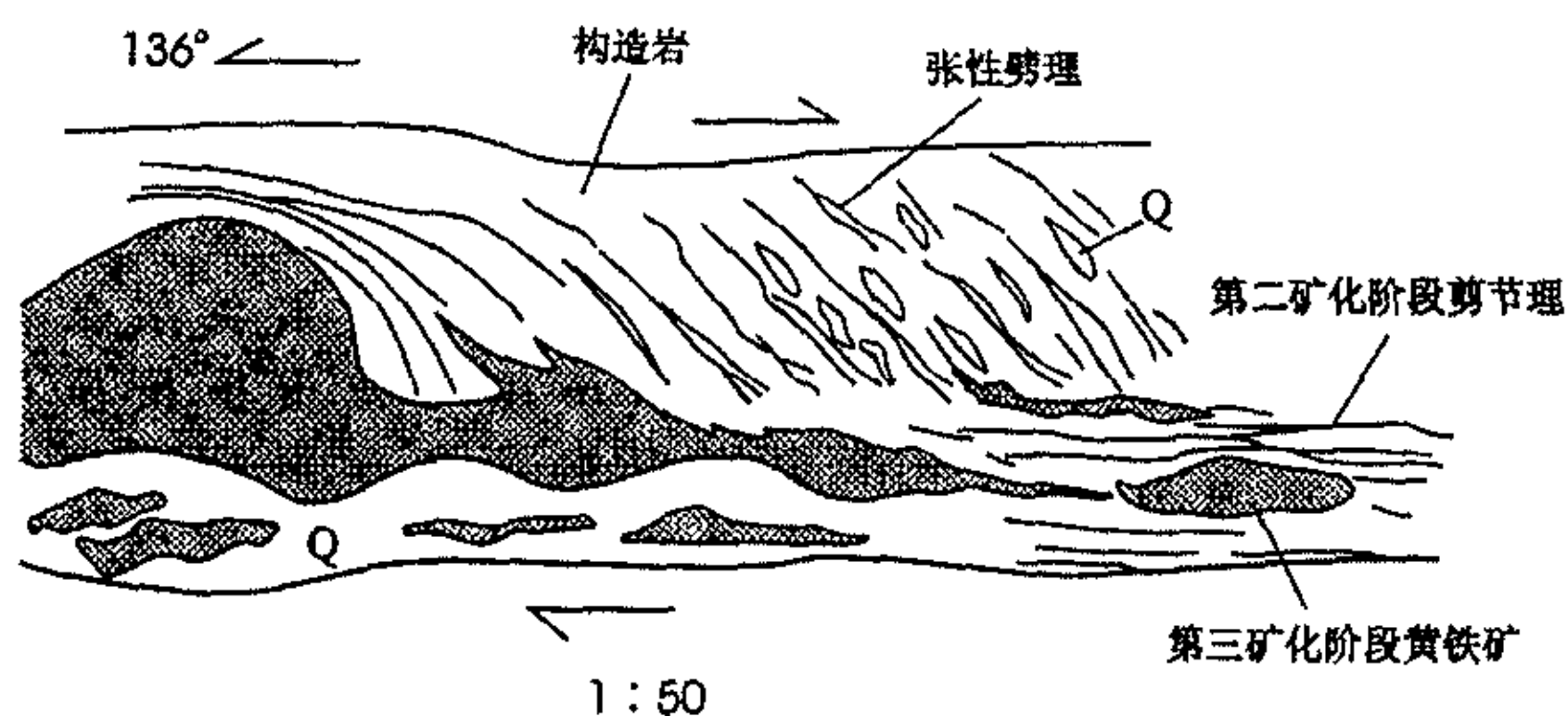


图5-10 Q971脉101中段绕道下山西壁构造素描图

英脉沿走向发生压性破裂的过程,仍属成矿期构造;第四期为扭张应力作用下,发生局部扩张的过程,为成矿期构造;第五期为成矿后构造,主要形成一些张性劈理。此外,

在此可以明显的观察到有三期成矿阶段，一期成矿为压性作用下形成乳白色石英脉的阶段，石英脉中硫化物较少，从下山可见，缓处（ 15° ）脉体较厚，可达 1.6m 以上，而稍陡处（ 25° ）脉体较薄，约为 30~80cm；二期成矿使一期形成的石英脉体内部形成平行的剪节理组沿走向分布，并伴随有矿化作用发生，剪切面上盘擦痕显示上盘运动方向为 180° ，节理面中有较少的黄铁矿分布；第三期为构造带局部发生张性作用并成矿的时期。图中在构造带底板处有厚约 20~50cm 的石英脉，靠上盘有厚约 80cm 的构造岩（蚀变糜棱岩），其中有较密集的张性劈理分布，局部有石英脉和黄铁矿贯入，属典型的正断层。在图的左侧有大块黄铁矿生长结晶，结晶压力使劈理局部压紧成片理构造。在石英脉中还可见到黄铁矿集合体表现为弯曲、顶底面不平整的带状、块状、透镜状等；在图的右侧可见到黄铁矿结晶压力使第二成矿期产生的节理发生局部压紧，说明它晚于节理形成。从三个成矿期次的分析可以看出，第三成矿期应为主成矿期。

关于东桐峪金矿的矿体定位机制，可以通过对含脉断裂进行运动学分析加以说明。区域上平面应力场在主成矿期表现为近东西向的右行剪切，而在东桐峪金矿田则表现为一套派生的准剪切-拉张系统（张学仁，2001），南北两侧大致以两条近东西向的韧性断层为边界（图 5-11）。在此应力系统的作用下，近东西向的 Q8 号脉、Q12 号脉等表现为挤压-剪切性质，北东向的 Q12 号脉则表现为张扭性质。具体而言，Q8 号脉在其与 Q12 号脉交汇点以西，呈右行压剪，在偏北西走向段的引张扩容处矿体定位；在交汇点以东，断层两侧大致呈现同步运动，分段扩张无西段明显。Q12 号含脉断裂以低角度同 Q8 号脉斜交，在剪切-拉张活动中，北东-南西向的拉应力使之并不显示纯拉张性，而是带有左行扭动的性质，此运动造就了 Q12 号脉在北东段的双重扩张而成矿，而在两端，由于张性扩容被产生的左行闭合作用所冲减，使其成矿的强度降低。此外，根据 Q12 号脉的应力状态可知，Q10 号脉受左行扭压而导致其北东段引张而成为有利的容矿空间，北西段则因闭合而贫矿。

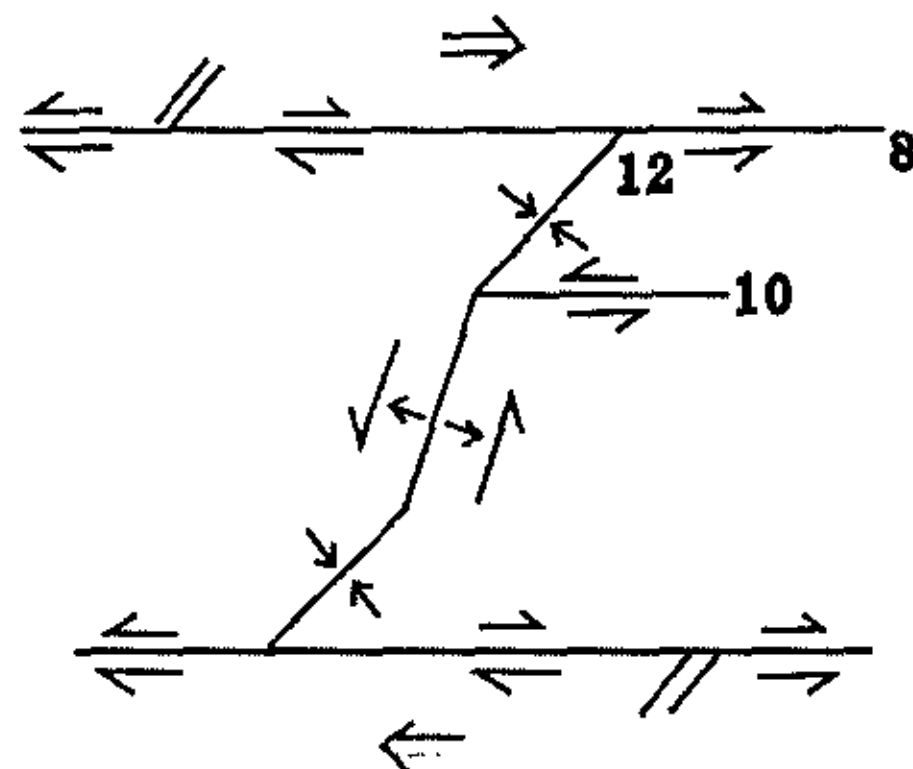


图5-11 东桐峪金矿田剪切-拉张系统示意图

综上所述，造成东桐峪金矿矿体分布规律的原因是多方面的，在具体研究时，只有分别对不同方向的不同脉体及脉体的不同部位受区域应力场、矿田构造、矿床构造等因素的作用效果进行综合考虑、详加研究，才能保证所得结论的正确性和实用性。

第四节 成矿预测

成矿预测是成矿研究的最终目的，它是在一定的地质背景中，通过全面分析成矿因素并掌握成矿规律的基础上进行的一种实践性科研活动。

东桐峪金矿的地表范围有限，其找矿目标只能集中在矿区有限的范围内。由于目前

在地表直接找到矿脉的可能性已不大，因此寻找中深部盲矿体、预测现有的较大脉体在深部还有无矿体存在、以及预测较大脉体在深部可能出现矿体的具体位置等便成为本矿区目前找矿工作的主要目标。

区域研究程度表明，南北向隐伏断裂组同太要断裂相交汇的地区是矿田分布区。南北向断裂的规模愈大、条数愈多、组合愈密集，所形成的矿田规模也愈大，特别是在区域复背斜的核部更是如此。矿田的产出特征表明，无论是浅表矿还是中深部矿，最有利的地段在含脉断裂同两条断层-裂隙带的交汇部位上，因为此部位具备两个方向构造控矿作用的双重叠加，因而其成矿可能性优于其它部位。据此判断，在 Q8501 号脉的下部可能有 Q14 号脉的矿体形成；在 Q12 号脉以西 Q8 号脉以南的部位可能有大致与 Q12 号脉体走向相近的盲矿脉存在，具体位置为图 5-9 中 C—D 连线附近。因为这里正好靠近北东、北西向两组断层-裂隙带相交汇的有利成矿部位（图 5-2），此外从金属量的富集趋势分析中知道，富矿体的空间连线为北西向（A—B），而此方向与北东向（Q12 号矿脉的走向）恰好为南北向挤压应力作用下的一对共轭剪切方向，从理论角度分析，这一方向也应当同北东向一样，成为本区有利的成矿方向，但从前文的论述知道，事实并非如此。实际上共轭剪切过程中产生的两组剪切构造，一组发育而另一组不发育，已是很普遍的现象。具体到东桐峪金矿则为北东向剪切构造较发育而北西向不发育，但在该矿区矿化富集空间上，各脉中金属量的集中部位的连线沿北西向展布又说明，尽管与北东向对应的北西向共轭剪切断裂不发育，但其在空间上仍具有一定的控矿意义。所以笔者认为，探矿工程中可沿北西向（C—D）施以一定的坑道工程，以便找矿工作能在矿区的西南侧有所突破，获得新的矿源。尽管目前这里还未发现工业矿体，但在其北东地区已发现 Q971 号盲矿脉，这对在此部位继续寻找盲矿体无疑具有极大的现实意义。

通过对矿区较大规模矿脉如 Q8 号脉、Q12 号脉等所控矿体分布规律的研究，可以初步将 Q8 号脉深部赋存矿体的位置确定在③号矿体南西侧，距③号矿体水平距离大约为 400 米，标高在 600 米左右的位置处；寻找 Q12 号脉深部可能赋矿位置的目标应集中在北东段的扩容部位，至于其具体位置目前还难以确定，有待以后进一步研究。不过综合全文的研究资料可以肯定，其深部成矿前景要比 Q8 号脉差。

最后需要强调的是，由于本区含金蚀变带普遍发育，且在蚀变带内时有矿体产出，因此在寻找石英脉型金矿体的同时，还应加强对蚀变岩型金矿体的寻找，特别是在寻找深部矿体时更应对出现的构造蚀变带详细研究，以免漏掉可能存在的矿体。因为受区域构造活动及物化条件改变的影响，由上到下构造带逐渐由脆性向韧性过渡，构造带中所控矿体也逐渐由石英脉型向蚀变岩型转变。尽管蚀变岩型金矿床的品位较石英脉型低，但这并不能排除蚀变带内存在大型金矿床的可能性，而且目前在秦岭地区已发现不少构造蚀变岩型金矿床。

结 论

本文通过基础资料分析研究、野外调研、室内数据处理等几个阶段的艰苦工作，结合东桐峪金矿与整个小秦岭地区构造控矿的具体特征，取得了如下的认识和结论：

1. 由于受华北地块、华南地块长期活动的影响，使得小秦岭地区形成了以南北向为主，其它方向为辅的构造应力场，此应力场决定了区域内的构造变形特征及最终的区域构造格架。

2. 区域上复式背斜轴的波状起伏和倾没地段对含金构造带控制明显。位于背斜轴部的含金构造数量较多，所控矿床规模及探明储量较大；远离背斜轴部的含金构造带数量较少，其所控矿床的规模及储量也较小。

3. 断裂构造为区内主要控矿因素，它不但控制了小秦岭金矿带的形成和发展，而且也控制着该区的矿带、矿田、矿床和矿脉的空间分布。东桐峪矿区矿田断裂构造是在南北向压应力作用下形成的一套断裂组合系统，该断裂系统和褶皱一起共同构成了区内较为完整的构造应力系统。该构造应力系统的控矿意义主要体现在被动提供空间和主动形成矿液并使之流动沉淀富集这一双重作用中。

4. 与区域构造带走向一致的近东西向压性断裂构造及北东、北西向的两条断层-裂隙带为矿区含金石英脉的主要控矿构造，其次为扭压性断裂构造。不同方向断裂构造交汇的构造结控制大规模富矿体的形成。

5. 含金石英脉严格地受含脉断裂构造带的控制，呈不规则的脉状、透镜状、串珠状、囊状、饼状产于含脉断裂构造带中。多呈厚数十厘米—数米，乃至十余米的单脉，局部地段常见密脉及网脉，常呈尖灭再现或尖灭侧现。金矿体多数被限制在含金石英脉体之内，其形态基本与含金石英脉体一致。在少数情况下，含金石英脉的直接围岩——蚀变绢云石英片岩（或称构造片岩）中的含金品位可达工业矿体的要求。

6. 东西向压性构造带所控矿脉在平面上呈等间距平行排列，除 Q8 号矿脉外其余的均限于 Q12 号矿脉以东分布，且此方向矿脉中的矿体多随构造带的波状沿展而呈等间距分布。在倾向上矿体主要分布于中等缓倾角处。北东向扭压性构造带中的矿脉所控矿体主要分布于矿脉北北东段的扩容部位。

7. 东桐峪金矿床中矿体的分布具明显的不平衡性。这种不平衡性首先表现在不同方向的成矿性和成矿规模不同，其次表现在矿体的长短宽窄与厚薄、形态与产状、品位与总金属量等方面。

8. 空间上整个矿区金素量的富集表现为向南西方向侧伏的分布趋势，找矿靶区应以矿区的南西部位为主。

致 谢

本论文是在导师李侠教授和张学仁副研究员的悉心指导下完成的。

三年来,两位导师不仅在学习和工作中对学生倾注了大量心血,同时还在为人处世、待人接物方面对学生进行了言传身教。他们不仅教给学生了刻苦的钻研精神、求实的工作作风、严谨的治学态度,而且还教给了学生诚实做人、豁达处世的为人之道。回想起三年来两位导师在生活、学习、工作中对学生的帮助和教诲,学生百感交集,感激之情难以言表,在此,谨将感激的千言万语化作一句话:老师,您辛苦了。

论文撰写过程中,还得到了王平安老师、李秉新老师的帮助。野外调研及收集资料的过程中,得到了东桐峪金矿地测科赵宗勤科长及科内其它多位工程师的大力支持和帮助,在此谨向他们表示诚挚的谢意。

三年研究生学习生活中,同舍李慧荣、陈强两位同学曾给了我较多的帮助,特别是在计算机应用方面,在此我对他们三年来给与我的真诚帮助表示深深的谢意。

另外,在论文编写过程中还得到了 2000 级研究生贺振、陈新跃等同学的帮助,在此一并向他们表示衷心的感谢。

参 考 文 献

- 1 张伯声, 1980, 中国地壳的波浪状镶嵌构造, 科学出版社
- 2 张伯声, 1983, 张伯声地质文集, 陕西科学技术出版社
- 3 王战、吴文奎、李侠等, 1996, 中国地壳的镶嵌构造与波浪运动, 北京: 地质出版社
- 4 李侠, 1998, 镶嵌构造理论与实践研究, 西安地图出版社
- 5 张伯声主编, 1986, 地壳波浪与镶嵌构造研究, 2, 陕西科学技术出版社
- 6 王战等, 1993, 东秦岭波浪状构造演化, 西北大学出版社
- 7 张维吉、王全庆、胡能高等, 1996, 东秦岭地质走廊研究, 陕西科学技术出版社
- 8 王平安、陈毓川、裴荣富等, 1998, 秦岭造山带区域矿床成矿系列、构造、成矿旋回与演化, 北京: 地质出版社
- 9 马建伟、奥和会等, 1997, 秦岭-金矿遥感地质, 北京: 地质出版社
- 10 梨世美、瞿伦全、苏振邦等, 1996, 小秦岭金矿地质和成矿预测, 北京: 地质出版社
- 11 沈阳地质矿产研究所编, 1989, 中国金矿主要类型区域成矿条件文集, 3 豫陕小秦岭地区, 北京: 地质出版社
- 12 沈阳地质矿产研究所编, 1990, 金矿地质论文选集, 第 1 辑, 北京: 地质出版社
- 13 地质矿产部秦巴科研项目办公室、陕西省地质矿产局秦巴金矿科研办公室编, 秦巴金矿论文集, 北京: 地质出版社
- 14 王钟、邵孟林、肖树建主编, 1996, 隐伏有色金属矿床综合找矿模型, 北京: 地质出版社
- 15 栾世伟等, 1987, 金矿床地质及找矿方法, 四川科学技术出版社
- 16 梁文艺、孙继东、姜修道等, 1993, 活动剪切带的有序叠加与金矿的形成, 西北大学出版社
- 17 何绍勋、段嘉瑞等, 1996, 韧性剪切带与成矿, 北京: 地质出版社
- 18 胡正国、钱壮志等, 1994, 小秦岭拆离-变质杂岩核构造与金矿, 陕西科学技术出版社
- 19 李东旭、周济元主编, 1986, 地质力学导论, 北京: 地质出版社
- 20 孙殿卿、高庆华, 1982, 地质力学与地壳运动, 北京: 地质出版社
- 21 刘迅等, 1998, 地质力学的方法与实践第五篇(上), 地质力学在矿产资源勘查中的应用, 北京: 地质出版社
- 22 陈卓, 1998, 小秦岭金矿田多因复成成矿作用过程分析, 大地构造与成矿学, 第 22 卷第 3 期
- 23 宫同伦, 1994, 小秦岭金矿田成矿分带初谈, 地质构造学刊, 第 4 卷第 2 期
- 24 宫同伦, 1995, 豫西小秦岭金矿田构造控矿基本特征, 地质构造学刊, 第 5 卷第 1 期
- 25 张学仁, 1999, 小秦岭金矿的控矿构造特征, 地质构造学刊, 第 9 卷第 1 期
- 26 徐兴旺、蔡新平, 2000, 隐伏矿床预测理论与方法的研究进展, 地球科学进展, 第 15 卷第 1 期
- 27 卢作祥、范永香、刘辅臣, 1989, 成矿规律和成矿预测学, 中国地质大学出版社。
- 28 胡元第、郭抗衡, 1981, 豫西构造控矿规律和内生矿床预测, 北京: 地质出版社
- 29 庄培仁、常志忠, 1996, 断裂构造研究, 地质出版社
- 30 张贻侠、寸珪、刘连登等, 1996, 中国金矿床进展与思考, 北京: 地质出版社
- 31 翟裕生等, 1997, 大型构造与超大型矿床, 北京: 地质出版社
- 32 J. G. 兰母赛, M. I. 胡伯 著, 刘瑞珣、常志忠、张荣昌译, 1991, 现代构造地质学方法, 第一卷,

应变分析, 地质出版社

- 33 J. G. 兰母赛, M. I. 胡伯 著, 徐树桐主译, 郑亚东校, 1991, 现代构造地质学方法, 第二卷, 褶皱和断裂, 地质出版社
- 34 И. А. 舍赫特曼 B. A. 科罗列夫 H. A. 尼基福罗夫 B. И. 费多尔丘克 Ю. С. 什欣著, 石准立等译, 1982, 热液矿床详细预测图, 地质出版社