

分类号: P62

10710-22250

# 长安大学

## 硕士学位论文

陕西马鞍桥金矿床成矿控制因素及成矿预测

云正文

指导教师姓名 刘建朝 张学仁 教授

申请学位级别 硕士 学科名称 矿产普查与勘探

论文提交日期 2005 年 5 月 论文答辩日期 2005 年 6 月 3 日

学位授予单位 长安大学

答辩委员会主席: 钱壮志

学位论文评阅人: 梁枫 隗合明

2005 年 5 月 24 日

## 摘 要

本文从研究马鞍桥金矿床的成矿控制因素入手,运用构造分析的方法,通过流体包裹体研究,并利用地球化学、地球物理等技术手段,对该矿床进行了矿体综合成矿预测,取得了以下主要成果和新的见解:

1. 通过分析研究马鞍桥金矿床的构造变形特征及剪切带的演化,提出研究区韧性剪切带主要经过四期变形。即第一期为自北往南推覆,确定了此剪切带(矿化带)的位置和形态产状;第二期为自南向北逆冲推覆,控制了带内矿床的位置;第三期走滑—滑脱引张,对矿体进行改造和定位。其中对成矿影响较大的则为二、三两期。至于带内普遍出现的第四期多组脆性断层,是成矿后构造,对成矿没有多大意义,对矿体的位移破坏距离也较小。

2. 通过分析研究矿床的空间分布规律和围岩的接触关系,认为矿体主要分布在桐峪寺组上岩段的中、下部,赋矿岩石主要为黑云绢云石英千枚岩和钙质绢云石英千枚岩。

3. 通过对该矿床载金矿物——黄铁矿的标型特征研究及其与金矿化的关系,该区黄铁矿可分为四期,其中第二、三期的黄铁矿为主要的载金矿物。

4. 通过对研究区矿石中石英包裹体的研究,成矿均一温度为  $210^{\circ}\text{C}\sim 260^{\circ}\text{C}$ , 盐度为  $7.8\%\sim 4.5\%$ , 成矿深度大约  $1\text{km}\sim 2\text{km}$ , 属中低温浅成矿床。

5. 地球化学分析表明,在 CM33 线下方约  $30\sim 50$  米的深度范围内,自化探 17 号点沿倾向往南,可能出现工业矿体;25 线在标高 1200 米左右的东西范围内,可能有一金矿体存在。

6. 据地质条件和物化探资料分析,25 线以东的矿体仍然表现为右行左列式,它们都赋存于深灰色黑云石英糜棱岩之上的浅灰白、灰绿色绢云母超糜棱岩或片糜岩之中,它们的上界是炭质千枚岩,下界为黑云石英糜棱岩; $y_3$  测线的 4~10 号点异常,25 线断面的 II 号异常有可能由小型矿体引起的。

关键词: 马鞍桥 金矿床 韧性剪切 地球化学 地球物理 成矿预测

## Abstract

This paper is from the research the controls of the mineral factor of MaAnqiao gold deposit to commence, making use of the structure analysis, fluid inclusion, geochemistry, geophysical etc to become mineral estimate . The mainly result and new views as follows:

1.Through the analysis to the formation mechanism of structure and the evolve of shear zone, The first time is thrusting from north to south, which make sure the position of the shear zone. The second time is thrusting from south to north, which make sure the position of gold deposit. The third time is strike-slip about west-east, which make the deposit display right-lateral and left-stepping. The second and the third time is more important to the formation of gold deposit. The fourth time is mainly brittle deformation, which have no use to the formation of gold deposit.

2. Through researching the relationship of the deposit spatial distribution and the contact relation with wall rock. Ore-bearing stratohorizon is TongYus group of late Devonian system and ore bearing rock is minute clastic rock formation.

3.Through researching the typomorphic characteristics of pyrite and the relation with gold mineralization. The pyrite of researching zone has four time. The second and third time is the main mineralization.

4.Through the analytical research of fluid inclusion, the temperature of the fluid is  $210^{\circ}\text{C}\sim 260^{\circ}\text{C}$ .The sality is 7.8-4.5 ‰, the depth is about 1~2 km.

5. According to geochemical prospecting, there have industrial deposit 30-50 meter below CM33 tendency to South along 17 name. There is a deposit in 1200 meter level of 25 line.

6. According to geology, geophysical prospecting and geochemical prospecting, east of 25 line display right- lateral and left- stepping.The Ore body exists in light grayish sericite ultramylonite, the celadon sericite ultramylonite or flake mylonite, it's upper bound is carbon phyllite and lower bound is biotite- quartz mylonite.There is a small ore body in 4-10 anomaly of y3 line and II anomaly of 25 line section.

Key words: MaAnqiao, enrichment gold deposit, the ductile shear, Geochemical, geophysical, deposit forecasting

# 前 言

马鞍桥金矿床位于西安市周至县西南部的沙梁子乡与板房子乡毗连界线两侧，距县城约 68 公里。地理坐标为东经  $107^{\circ} 53' 12'' \sim 108^{\circ} 11' 39''$ ，北纬  $33^{\circ} 44' 49'' \sim 33^{\circ} 53' 50''$ 。区内地势陡峭，气候温暖湿润。108 国道从矿区通过，交通便利。

## 1.选题依据

马鞍桥金矿床位于中秦岭海西褶皱带的北缘。研究区金矿床主要产于千枚岩之中，金的品位不高，经过十几年的勘探和采掘，露头矿、浅表矿已基本开采殆尽。在这种情况下，以往那种单一的找矿方法与模式已不太适应目前这种新的找矿局面。为了维持矿山的可持续发展，必须在深部及外围增加矿山储量。因此有必要加强区内金矿床的地质、地球物理、地球化学以及遥感等成矿信息的综合研究，系统研究这些成矿信息与金矿在三维空间里的形成与分布的规律，以确定今后在该区的找矿方向，达到多快好省的探矿效果。

## 2.研究现状

对马鞍桥韧性剪切带金矿床的研究已有十几年的历史。陕西地矿局第八地质队在 1986—1993 年期间首先在本区进行了地质普查工作，在 1:20 万及 1:5 万区域地质调查，区域化探图等资料的基础上发现了马鞍桥金矿床，随后对东矿段进行了详查评价，对矿床地质特征及成因有了初步认识。1993 年之后，周至县地方投资开采金矿，由于该矿床的地质勘探程度较低，研究程度亦低，无可供开采使用的详尽储量资料，因而很快就出现可采矿石量严重不足的局面。针对这一现状，为满足矿山生产和丰富地质理论，自 1994 年起，西安地质学院及西北大学等单位先后在该矿区开展了矿床地质及成因的研究工作，取得了多方面的进展。另外，长期以来国内其他地质专家及学者也从不同角度也对马鞍桥金矿床进行了研究，在此不再赘述。

虽然对马鞍桥金矿床已作了大量的研究，但还存在着不少的问题，其中对马鞍桥金矿床的构造演化及其对矿体的控制作用还没有统一的认识；对黄铁矿的标型特征及其与金矿化的关系、矿床成因等方面研究程度仍然不高。

## 3.主要的工作量

本论文是作者参加陕西马鞍桥金矿汪家山矿段成矿预测研究课题的一部分，本人

通过野外和室内观察、分析、综合研究完成的。作者自 2004 年 4 月开始，先后三次到该矿区进行野外调研，累计时间约两个多月。共采集样品和标本 100 余件，磨制光薄片 30 片，对代表性样品进行了电子探针分析，气液包裹体成分、均一温度、形成压力及盐度分析等。

此外，在前期地质研究的基础上，利用地球物理和地球化学技术手段，经过数月的野外工作，已对研究区有了比较全面的认识，基本查明了含矿的有利地段，确定了矿山工作的目标和方向。在 25 线，经过工程验证，已部分揭露了物探异常体的上部，在今后下降标高后，可望进入矿体。在 CM33 线也对深部含矿情况作了评价。

## § 1 区域地质背景

陕西省西安市周至县的马鞍桥金矿床产于中秦岭海西褶皱带的北缘,地层的区划上属于秦岭——松潘区中秦岭亚区(Ⅱ<sub>2</sub>)的礼县——柞水小区(张二朋等,1993)。区域构造位置为沙梁子——双庙子断裂和庙沟——小王涧两区域性断裂之间,板房子——小王涧复向斜北翼的旭奋子——黄石板次级脊的南翼。

### § 1.1 区域地层

中秦岭亚区的地层最大的特征是泥盆、石炭系地层极其发育,尤其是宝成线以东最为明显。泥盆、石炭系曾在中国南北大陆的边缘分别超覆于早古生代沉积岩系之上,是在早古生代晚期秦岭新生洋关闭后在活动硅铝壳上裂陷作用形成的区内坳陷盆地,沉积物以活动类型之泥碎屑岩组合占优势,夹有多层火山物质。出露地层有第三系、中生界、石炭系、泥盆系及前震旦系秦岭群,除第三纪沉积地层外,其它普遍发生不同程度的区域变质作用。马鞍桥式金矿床主要赋存于上泥盆统桐峪寺组,严格受其中发育的韧性剪切带的控制。现将区域地层由老至新叙述如下(图1—1)。

#### 前震旦系秦岭岩群(Anzq)

分布于沙梁子—双庙断裂以北,所见秦岭群上亚群下、中部东流水组,由斜长角闪岩、钠长阳起片岩、变细碧岩及千枚岩等组成。上部双水磨组主要由黑云绿泥斜长片岩、含石榴石二云斜长片麻岩、大理岩组成,夹凝灰质板岩、绢云石英片岩等。

本区秦岭群上亚群主要由变质中酸性与基性火山岩组成,局部正常沉积碎屑岩发育,普遍有碳酸盐岩沉积夹层,显示拉张构造环境下的沉积特征。

#### 泥盆系

本区缺失下泥盆统沉积。中泥盆统青石垭组与下古生界寒武—奥陶系地层成平行不整合接触。中、上泥盆统为连续沉积,上泥盆统沉积地层因构造破坏出露不完整。

##### (1)中泥盆统青石垭组(D<sub>2</sub>q)

出露于研究区南部冯家坪—老君滩断裂以南。按岩性组合划分为三个岩性段:青石垭组下岩段(D<sub>2</sub>q<sup>1</sup>),主要由大理岩、砂质千枚岩、变砂岩夹透闪大理岩组成。中岩段(D<sub>2</sub>q<sup>2</sup>)发育二云母千枚岩夹变砂岩、黑云石英片岩、二云母石英片岩夹薄层大理岩。上岩段(D<sub>2</sub>q<sup>3</sup>)主要由绿泥绢云千枚岩、变砂岩夹结晶灰岩组成。在由下至上的沉积层序中,显示出沉积物变细,盆地不断沉陷的趋势特征。

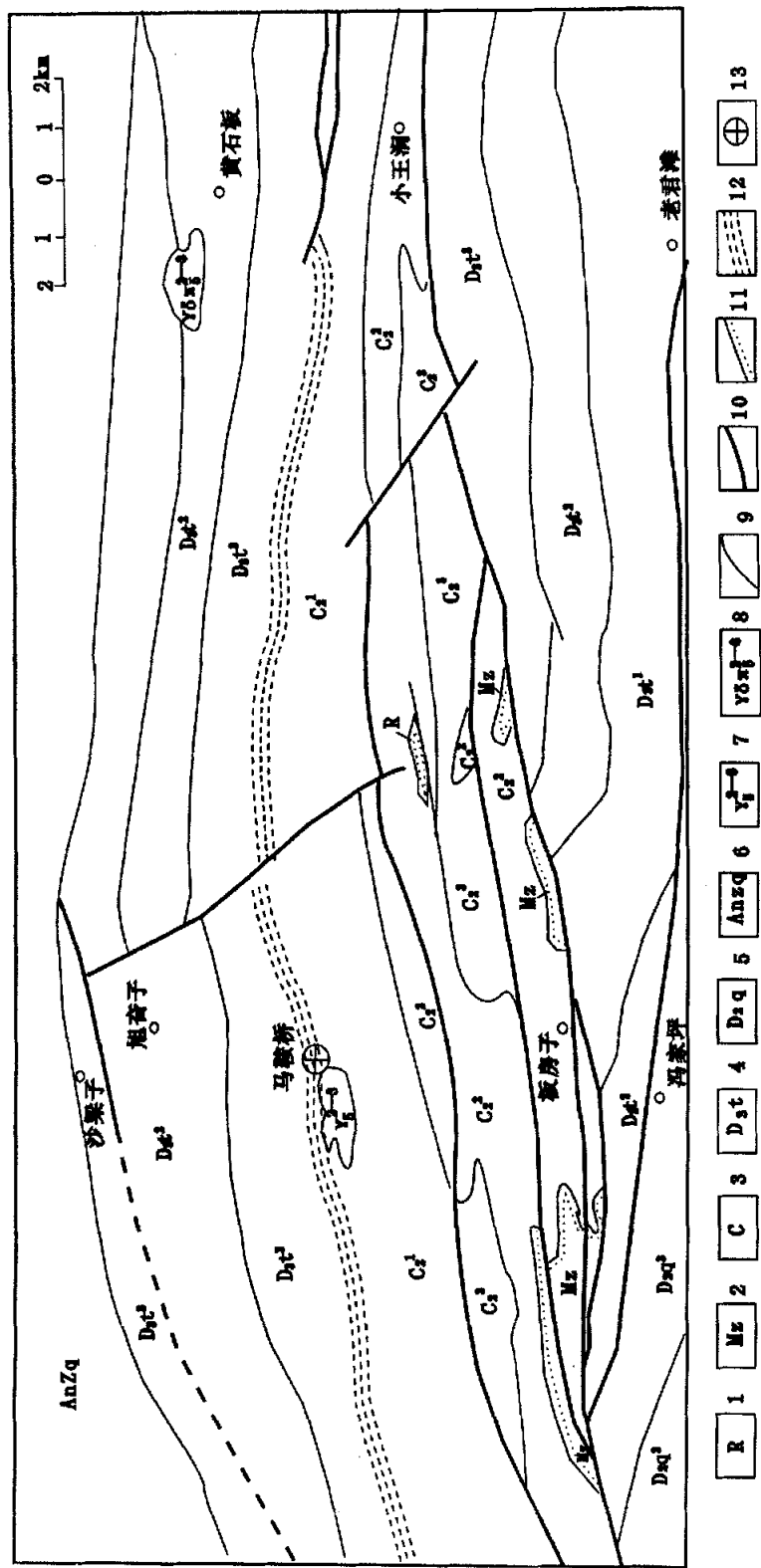


图 1—1 马鞍山金矿床区域地质略图

(据《马鞍山金矿床勘探报告》修改)

- 1.第三系; 2.中生界; 3.石炭系; 4.上泥盆统桐峪寺组; 5.中泥盆统育石垭组; 6.前震旦系秦岭群; 7.燕山期似斑状黑云母花岗岩; 8.燕山期花岗岩闪长岩; 9.地质界线; 10.区域断裂; 11.地质不整合界线; 12.韧性剪切构造带; 13.金矿床

## (2)上泥盆统桐峪寺组(D<sub>3t</sub>)。

在研究区有广泛的分布,是板房子复式向斜南北两翼主要组成单位,马鞍桥金矿床即产于北翼由桐峪寺组构成的旭奋子—黄石板次级褶皱构造中。桐峪寺组按岩性组合可划分为上、中、下三个岩性段。

桐峪寺组下岩段(D<sub>3t</sub><sup>1</sup>):主要由紫色—灰色变砂岩、黑云千枚岩、黑云石英千枚岩夹少量结晶灰岩及钙质千枚岩组成。未见其底界岩层出露,该段岩层总厚约366.9m。

桐峪寺组中岩段(D<sub>3t</sub><sup>2</sup>):主要由黑云千枚岩、黑云绿泥石英千枚岩、钙质千枚岩夹紫色—灰色变细砂—粉砂岩组成。其中千枚岩层内多见由黑云母、铁白云石、磁黄铁矿等组成的斑点状构造。各岩性层中普遍含有弥散状磁黄铁矿和黄铁矿。岩性层厚约81.0m,为马鞍桥金矿床及金矿带的主要容矿地层。

桐峪寺组上岩段(D<sub>3t</sub><sup>3</sup>):由凝灰质千枚岩、钙质千枚岩、变粉砂岩、绢云石英千枚岩、铁白云质千枚岩间夹不纯大理岩及碳质石英千枚岩组成。岩段厚度约1364m,亦为马鞍桥矿床的重要容矿岩层。

## 石炭系

相对集中分布于马鞍桥断裂和板房子断裂之间,组成本区复式向斜的槽部,主要由中、下石炭统组成。下石炭统局部分布,主要由砂质绢云千枚岩夹变粉砂岩和含生物化石的碳酸盐岩组成。中石炭统下段相对发育,由绿泥绢云千枚岩、变砂岩、变石英砾岩等组成;其中岩段由变砂岩、千枚岩夹大理岩组成;上岩段为变质石英砂砾岩、变砂岩夹千枚岩、大理岩。

本区石炭纪沉积表现出沉积层序向上变浅的特点,显示了随南北板块的不断俯冲碰撞,板—沙盆地逐渐萎缩的趋势。

## 中生界(Mz)

沿板房子—小王涧断裂两侧零星分布,主要由杂色石英砾岩、杂色复成分砾岩夹砂岩、砂质泥岩组成,局部出现杏仁状安山岩与玄武—安山岩。中生界地层与下伏石炭系沉积为角度不整合接触,其发育的中性火山岩表明中—(新)生代局部断陷盆地切割陆壳较深。

## 第三系(R)

仅在研究区复向斜槽部南侧分布,由复成分杂色砾岩组成。



## § 1.2 区域构造

如上所述,研究区沉积建造的形成即处在南北两板块的俯冲会聚碰撞构造带中,沉积建造的形成在俯冲作用影响下,导致与隆起带平行发育的断陷盆地形成,随着板块进一步聚敛,使本区早期裂陷性质的盆地演化成板块不规则边界斜向碰撞形成的残余一拉分盆地。本区成陆造山阶段仍然是构造强烈活动带,沿秦岭板块和华北板块南缘碰撞结合带,即商—丹缝合带发生强烈的构造变形,导致广泛的岩浆活动和变质作用。马鞍桥金矿床所在区域,是该构造活动带的一个缩影。

### § 1.2.1 褶皱构造

研究区褶皱构造十分发育且活动强烈,组成本区的背向斜褶皱多为不对称或为倒转性质。加之断裂构造的强烈破坏和变质作用的叠加,使一些褶皱难于判定。通过较大范围的调研和地质剖面的测定,将本区褶皱大致划分如下。

#### (1)板房子—小王涧复式向斜

为研究区的一级褶皱构造,夹持于沙梁子—双庙断裂与冯家坪—老君滩断裂之间,褶皱轴线近东西向延伸。复向斜槽部地层由中石炭统组成,两翼地层由上泥盆统桐峪寺组构成。复向斜南北翼边界被断裂破坏而残缺不全。该复向斜为一倒转向斜,两翼地层均为南倾,北翼地层倾角较陡,变化在  $50^{\circ} \sim 80^{\circ}$  之间,南翼地层稍缓,变化在  $45^{\circ} \sim 65^{\circ}$  之间。

#### (2)旭奋子—黄石板复背斜

属于板房子—小王涧复向斜北翼组成之次级背斜,是控制马鞍桥金矿床及金矿带的重要褶皱构造,其核部由上泥盆统桐峪寺组中、下岩段地层组成,南北两翼为桐峪寺组上岩段。背斜枢纽走向  $104^{\circ}$  左右,为一倒转式背斜,背斜轴面南倾,倾向约  $173^{\circ}$ , 倾角  $37^{\circ}$ , 局部倾角较大,可达  $70^{\circ} \sim 80^{\circ}$ 。

该复背斜两翼边界均为区域性断裂破坏,并进而有后期韧性、韧—脆性剪切构造叠加;发育南翼和汪家山沟韧—脆性构造带和发育于北翼的沙梁子—双庙韧性剪切构造带,是目前本区金矿床、金矿点和金矿带的主要控矿断裂构造。

#### (3)东沟—台子上复背斜

为板房子—小王涧复向斜南翼之次级复背斜。背斜核部由上泥盆统桐峪寺组下岩段组成。南北两翼由桐峪寺组中、上岩段组成。两翼地层均被断层所切割。北翼与石炭系,南翼与中泥盆统青石垭组断层接触。背斜枢纽总体东西向延伸。

### § 1.2.2 断裂构造

研究区断裂构造发育，断层类型多样，断裂规模大小不等。其中以近东西向断裂构造为主，北西向与北东向次之，南北向断裂规模一般较小。一些规模较大的断裂均具多期活动的特点。

#### (1)沙梁子—双庙断裂

是一长期活动、规模宏大的断裂带，是商—丹缝合构造带的一部分，并向西经凤县唐藏进入甘肃境内。该断裂发育在华北板块南缘秦岭群和秦岭板块北缘泥盆系的碰撞结合部位。断裂总体北倾，倾角  $60^{\circ} \sim 80^{\circ}$ ，宽数十米至近千米。已在沙梁子等处发现金矿化线索。

#### (2)汪家山沟—柳林沟断裂

该断裂位于沙梁子断裂南部，在区域断裂形成的基础上，再次以韧性剪切构造形式复活。具多期活动特征发育在马鞍桥地区。自汪家山沟向西沿香沟南坡直止大黑沟一带，汪家山沟以东经虎豹河、王家河东西长几十千米，是马鞍桥金矿床的直接控矿构造。断裂带倾向变化在  $170^{\circ} \sim 220^{\circ}$ ，倾角变化于  $45^{\circ} \sim 70^{\circ}$  之间，总体走向  $80^{\circ} \sim 100^{\circ}$ ，断裂带宽  $100 \sim 300\text{m}$  之间。倾向上断面呈舒缓波状。断裂带内发育糜棱岩、相对刚性的构造透镜体，片理化带，以及后期断裂的进一步叠加形成的断层泥化带，挤压破碎带，它们往往与韧性剪切带呈中等角度交切。

#### (3)板房子—小王洞断裂

为研究区南部较大型断裂，发育在复向斜南翼中石炭统中段与南侧桐峪寺组各岩段斜交的接触带上。断裂为一高角度压性断层，大体近东西—北东东向走向，总体南倾，倾角  $75^{\circ} \sim 80^{\circ}$ 。沿该断裂北侧，在中石炭统中段地层中发育变火山岩，并断续分布有中生代断陷红盆沉积。可见断裂具有切割较深性质和多期活动的特征。

#### (4)冯家坪—老君滩断裂

位于研究区最南端，发育于复向斜南翼边界桐峪寺组与青石垭组接触带上，断层向北陡倾，倾角大约为  $85^{\circ}$ ，具压扭性质。

#### (5)北西向断层组

它的发育程度及表现规模远不及东西向断层组。在研究区复向斜槽部相对发育。明显切错东西向断裂。断层组走向大致为  $305^{\circ} \sim 327^{\circ}$ ，多属压扭性质，倾角中等。往往为金成矿作用后期断裂。

#### (6)北东向断层组

该断层组规模较小，特别在韧性、韧—脆性剪切变形带内发育，为剪切作用后期派生次级构造。在由韧性、韧—脆性剪切构造控制的金矿带中，该组断裂对金矿体和金矿化体既有控制作用，亦有破坏作用，反映出它活动作用的多阶段特征。

### § 1.3 区域岩浆岩

马鞍桥地区所属两板块碰撞造山对接带中，故岩浆岩活动较发育。本区在沙梁子断裂带以南断续出露燕山期酸性花岗岩及中酸性花岗闪长岩。其中沿汪家山沟—柳林沟断裂南侧分布有香沟似斑状黑云母花岗岩和柳林沟花岗闪长斑岩。香沟岩株与马鞍桥金矿床相距不远，初步研究岩浆岩与金成矿作用无直接成因联系。此外，在研究区东南部小王洞地区亦出露似斑状黑云斜长花岗岩小岩株，产于中石炭统中。

另外，在板房子地区中生代地层中发育中性、中基性安山岩与玄武安山岩岩系。局部发现角砾状安山岩。火山岩中具流动构造。为研究区构造活动晚期发育的陆相火山岩系。

### § 1.4 区域变质作用

马鞍桥金矿床位于秦岭造山带板块碰撞会聚的“蜂腰”部位。所受南北俯冲碰撞动力相对集中，导致区域挤压作用下复合的地壳下部物质的垂向加积增生作用以及能量的向上传输，一方面造成位于本区南部佛坪基底结晶杂岩的抬升，致使佛坪穹窿形成，另一方面造成沿佛坪穹窿周围发生以主动方式侵位的花岗岩浆活动。这样，在秦岭造山带的晚期阶段，形成以佛坪古陆为核心的区域热动力异常中心，古陆盖层岩系( $Z_2$ —D)中发育的递增变质带围绕佛坪地区分布，变质程度由核部向边缘逐渐降低，从高角闪绿片岩相到低绿片岩相。

马鞍桥金矿床位于佛坪变质晕带的边缘部位，容矿的上泥盆统桐峪寺组岩层中—低级变质作用。细碎屑岩在变质变形作用下，普遍绢云母化形成板岩、千枚岩及构造片岩。热动力作用较强烈部位形成黑云母化变质晕或发育变质斑点状构造的区域变质带，进而在局部产生由于变质分异形成的分异条带构造。碳酸盐岩在区域变质作用下，主要表现为重结晶，形成结晶程度不均匀的条带状大理岩或块状大理岩。它们在强烈构造作用下往往形成构造透镜体。

容矿岩系的中—浅变质作用，随着含矿原岩成分结晶程度和变质分异的变化，成矿物质有可能随同变质热液的运移而发生活化，对于本区金矿床形成演化过程中金的预富集，以及含矿原岩中的难释放金转变为易释放金起着不可忽视的作用。

## § 2 矿床地质

如前章所述, 马鞍桥金矿床产于两板块拼接缝合构造带南侧, 具有鲜明的地质特点。以下就矿区地层特征、变质作用、构造、岩浆及矿床地质分述如下。

### § 2.1 地层

马鞍桥金矿区内出露地层仅为上泥盆统桐峪寺组上岩段和中石炭统下岩段(图2-1)。根据其变质岩石组合和变形特点可进一步详细划分如下:

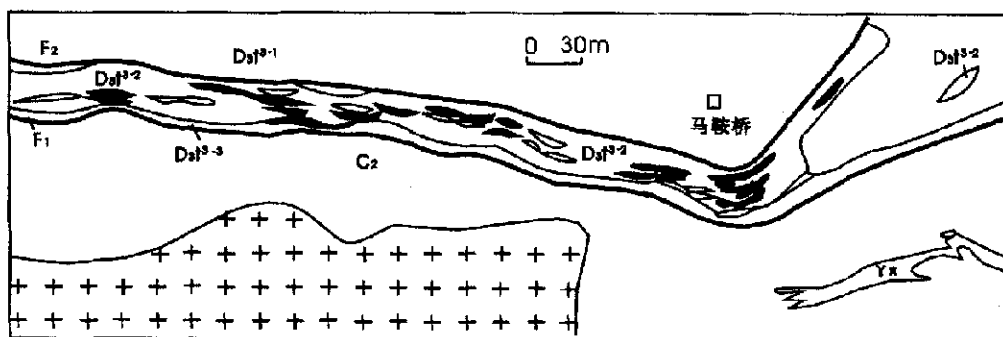


图2-1 马鞍桥金矿床地质简图



1.地质界线; 2.断裂; 3.大理岩透镜体; 4.金矿体; 5.香沟花岗岩; 6.桐峪寺组上岩段; 7.花岗岩脉

#### 桐峪寺组上岩段下部( $D_3t^{3-1}$ )

主要由紫灰色、灰色黑云绢云石英千枚岩及斑点状黑云绢云千枚岩组成。原岩为含铁质粉砂质泥岩及含铁泥岩组成。岩石具显微鳞片花岗变晶结构, 千枚状构造。厚度约 180~280m。由于其缺少韧性剪切构造的叠加, 变形作用单调, 一般不能形成有意义的矿化蚀变。

#### 桐峪寺组上岩段中部( $D_3t^{3-2}$ )

由上下两种岩性组成, 下岩性段为紫色—紫灰色黑云绢云石英千枚岩、黑云绢云千枚岩及少量斜长黑云千枚岩组成。岩层中发育石英复脉及大理岩透镜体。由于变质分异和韧—脆性剪切构造叠加, 析离出早期石英的脉体发生肠状褶曲, 岩石中分异出石英出现动态重结晶。该岩性段为马鞍桥金矿的主要容矿层位, 多期矿化蚀变主要表现为较强的硅化、黄铁矿化—磁黄铁矿化、黑云母化与碳酸盐化。构成的矿化蚀变是以紫色黑云母化为容矿岩石的紫矿金矿石类型。

上岩性段由灰白色—白色钙质绢云千枚岩、钙质绢云石英千枚岩、钙质绿泥绢云  
上岩性段由灰白色—白色钙质绢云千枚岩、钙质绢云石英千枚岩、钙质绿泥绢云

## § 2 矿床地质

如前章所述, 马鞍桥金矿床产于两板块拼接缝合构造带南侧, 具有鲜明的地质特点。以下就矿区地层特征、变质作用、构造、岩浆及矿床地质分述如下。

### § 2.1 地层

马鞍桥金矿区内出露地层仅为上泥盆统桐峪寺组上岩段和中石炭统下岩段(图2-1)。根据其变质岩组合和变形特点可进一步详细划分如下:

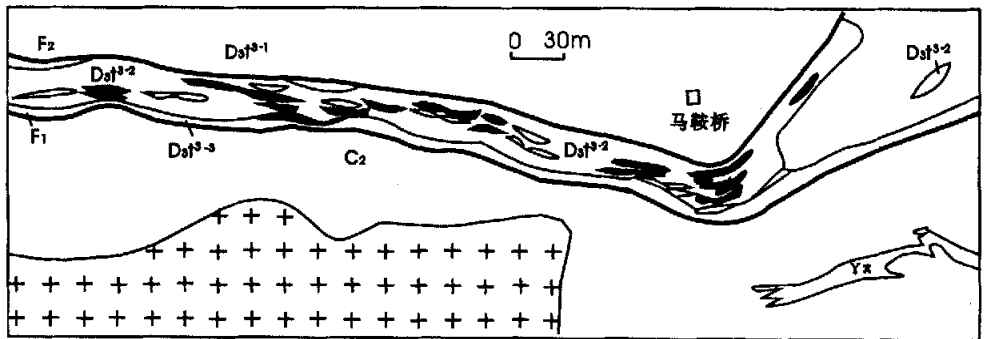
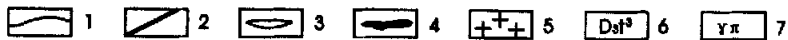


图2-1 马鞍桥金矿床地质简图



1.地质界线; 2.断裂; 3.大理岩透镜体; 4.金矿体; 5.香沟花岗岩; 6.桐峪寺组上岩段; 7.花岗岩脉

#### 桐峪寺组上岩段下部(D<sub>3</sub>t<sub>3-1</sub>)

主要由紫灰色、灰色黑云绢云石英千枚岩及斑点状黑云绢云千枚岩组成。原岩为含铁质粉砂质泥岩及含铁泥岩组成。岩石具显微鳞片花岗变晶结构, 千枚状构造。厚度约 180~280m。由于其缺少韧性剪切构造的叠加, 变形作用单调, 一般不能形成有意义的矿化蚀变。

#### 桐峪寺组上岩段中部(D<sub>3</sub>t<sub>3-2</sub>)

由上下两种岩性组成, 下岩性段为紫色—紫灰色黑云绢云石英千枚岩、黑云绢云千枚岩及少量斜长黑云千枚岩组成。岩层中发育石英复脉及大理岩透镜体。由于变质分异和韧—脆性剪切构造叠加, 析离出早期石英的脉体发生肠状褶曲, 岩石中分异出石英出现动态重结晶。该岩性段为马鞍桥金矿的主要容矿层位, 多期矿化蚀变主要表现为较强的硅化、黄铁矿化—磁黄铁矿化、黑云母化与碳酸盐化。构成的矿化蚀变是以紫色黑云母化为容矿岩石的紫矿金矿石类型。

上岩性段由灰白色—白色钙质绢云千枚岩、钙质绢云石英千枚岩、钙质绿泥绢云

千枚岩组成,夹大理岩透镜体。岩石片理化、透镜体化强烈。是由钙质粉砂质泥岩、含铁钙质泥岩经中—浅变质形成。亦为马鞍桥金矿床的重要赋矿围岩。矿化蚀变表现出较强烈的碳酸盐化与黄铁矿化、磁黄铁矿化,构成以白色钙质岩石为容矿岩石的白矿金矿石类型。

### 桐峪寺组上岩段上部(D<sub>3</sub>t<sup>3-3</sup>)

该岩段上岩性段以碳质绢云石英片岩组成为特征,岩石中片理化、糜棱岩化发育,构造眼球体与透镜体常见,石英脉为“Z”型褶曲多见。推测原岩为含碳质较高的钙质粉砂岩及含碳钙质粉砂质泥岩,经强烈的韧性构造变形所致。该岩性段亦为马鞍桥金矿床的重要含矿与容矿层位,矿化蚀变以较强的硅化、黄铁矿化及轻微毒砂化为特征,构成矿床中以碳质岩为容矿岩的黑矿金矿石类型。

### 中石炭统下岩段下部(C<sub>2</sub><sup>1-1</sup>)

与下部上泥盆统地层为断层接触。该岩性段由泥质较高之绢云千枚岩、绢云石英千枚岩、绿泥绢云(石英)千枚岩组成。岩石受韧—脆性剪切构造影响明显,在岩石遭受糜棱岩化过程中,岩石中的显微旋转碎斑、矿物的拉伸线理、S—C 组构等均可见及。可见到变质变形期较弱的硅化、黄铁矿化、但金的矿化较微弱。该岩性段地层厚度变化在 30~150m 之间。

### 中石炭统下岩段中部(C<sub>2</sub><sup>1-2</sup>)

主要由黑云绢云千枚岩、黑云绿泥绢云千枚岩、黑云绢云石英千枚岩夹石英岩薄层组成,是由含铁质粉砂质泥岩及铁质泥岩经中—浅变质形成。岩石具有显微鳞片变晶结构与千枚状构造外貌特征,变形较强者出现构造透镜体。岩性段厚度 110~280m。

### 中石炭统下岩段上部(C<sub>2</sub><sup>1-3</sup>)

由黑云母变砂岩夹黑云绢云千枚岩组成。岩石中发育显微鳞片变晶结构,可见变余砂状结构,其千枚状与块状构造明显。该岩性段中多见花岗斑岩脉体侵入。地层厚度小于 100m。

## § 2.2 变质作用与岩石类型

### § 2.2.1 长英质岩石类型及其变质作用

该类型岩石是由陆源碎屑岩及细碎屑岩,经区域变质作用形成黑云母变砂岩、黑云绢云石英千枚岩、黑云绢云千枚岩、黑云绿泥绢云千枚岩及斜长黑云石英千枚岩等。原岩组构大多被破坏殆尽,重结晶及变形普遍,但是从岩石的层状构造、残余组构及

矿物组合，不难恢复原岩为富含铁质、砂屑与泥质物的碎屑岩石。区域变质导致砂屑矿物定向排列，甚至轻度拉长；岩石重结晶普遍发育，并在中—浅变质作用下使石英、绢(白)云母聚合。含铁较高的泥质物变质形成黑云母鳞片—细片状变晶，在局部地段变晶较粗大者形成由黑云母单晶或聚晶组成的斑点状构造。它们在后期剪切构造变形作用下，常发生旋转，或在斑点矿物两端出现眼角纹，并有压溶矿物充填。

在矿区范围内容矿与含矿岩系因区域变质作用而导致发生的重结晶、原岩矿物成分的分异流动，新生矿物及组构的出现，有助于金等成矿物质赋存形式的改变以及活化转移，对早期成矿作用形成金的预富集具有积极作用。

### **§ 2.2.2 钙质岩石类型及其变质作用**

主要由钙质、粉砂质泥岩和含泥质碳酸盐岩组成的岩石类型。在区域变质作用下，钙质岩石普遍重结晶，而且钙质泥岩发生明显的成分分异，钙质成分和泥质成分在区域变质变晶过程中，各自相对集中形成成分条带，构成钙质千枚岩和铁白云质千枚岩。对于含泥质碳酸盐岩，在区域变质和韧性构造叠加作用下，一般发生强烈的变晶，导致在剪切带中块状大理岩与条带状大理岩的形成。该岩石类型化学性质活泼，岩石条带与片理发育，有利于热液的流通和物质的交换反应。加之本身含矿组分较易活化或易释放，构成本区有利的容矿围岩。

### **§ 2.2.3 碳质岩石类型及其变质作用**

该类型岩石由碳质泥岩及含碳质钙质粉砂岩组成。在区域变质和韧性剪切动力变质的双重作用下，岩石发生强烈的变形，形成片理化强烈的碳质片岩。在强变形构造带中，可见少量碳质的石墨化，岩石中的石英发生聚集，并出现动态重结晶。由于碳质原岩本身对金等成矿物质的吸附作用，碳质原岩中亦含少量金属硫化物，在后期韧性剪切构造作用下，成为本区有利的含矿层位。

## **§ 2.3 矿区构造**

由于金矿床产于板块拼合带中，故而矿区构造十分发育。褶皱构造在矿区仅为区域褶皱的一部分，往往表现为一单斜构造，但单斜层中的从属褶皱及层间褶皱不乏见及，其构造要素与区域褶皱要素极其相近，反映出该类构造的协调性。矿区较为特征的构造为断裂和韧性剪切构造带，与金矿床形成关系十分密切，是矿区构造研究的重点。

### **§ 2.3.1 韧性剪切构造带**

是地壳较深部由韧性剪切变形使岩石发生塑性流动造成的强烈变形的线性地带。在矿区正南沟—汪家山沟东西一线强烈发育，并向东西两侧延伸横贯研究区。主要叠加发育在桐峪寺组上岩段上岩性层中，其主要特征如下：

(1) 剪切带在矿区内呈东西向展布，出露宽度约为 120~240m，其地质产状倾向为  $70^{\circ} \sim 190^{\circ}$ ，倾角约  $56^{\circ}$  左右。剪切变形叶理产状与区域片理一致，仅局部地段有微小交角。

(2) 该韧性剪切带的宏观、微观标志明显：由不同成分组成的岩性层互层段中，构造透镜体十分发育；无根从属褶皱、早期石英脉体的褶曲及石香肠构造、不对称旋转体、S—C 构造、剥皮构造常见及；碳质层强烈变形形成碳质构造片岩十分典型；显微构造中的旋转碎斑、石英的碎粒化和动态重结晶；多种岩性的糜棱岩化、压力影构造等比较普遍。上述变形岩石中均有不同程度的硅化与黄铁矿化作用。

(3) 韧性剪切带具有多期递进变形的特点。早期变形以糜棱岩化为特点，同时有平行石英脉体分离析出。中期变形是以糜棱岩化形成的构造透镜体进一步发生不对称旋转为特征，石英脉体的石香肠化，以及岩石中变形程度不同部分的瓣状排列。晚期变形则以折劈和横张节理的发育为标志。通过大量变形构造标志分析，反映出剪切带早期活动以右行逆冲，晚期变形以左行滑落为特点。

(4) 马鞍桥金矿带、各金矿体与该韧性剪切带具有较好的重合一致性。矿化富集地段位于剪切变形强烈及加宽部位，其中的硅化、黑云母化、金属硫化物矿化作用较强烈。

(5) 矿区北部沙梁子—双庙断裂属于与马鞍桥剪切带平行的韧性剪切变形带，亦发现较好的矿化线索。两者均为商—丹断裂带的组成部分。

### § 2.3.2 断层

矿区断层为近东西向展布的  $F_1$ 、 $F_2$  (图 2—1)，自汪家山沟—大黑沟直接限定着剪切带和金矿带的空间展布。实际上， $F_1$ 、 $F_2$  应是该韧性剪切构造带的组成部分，是韧性剪切构造活动晚期的一幕。

$F_1$  产于泥盆系与石炭系地层接触界线上，属于马鞍桥金矿床及韧性剪切带上盘。其倾向为  $170^{\circ} \sim 220^{\circ}$ ，倾角为  $45^{\circ} \sim 70^{\circ}$  不等，断层宽度 0.1m 至数米，断面舒缓波状，沿走向和倾向有明显的变化。断层主要叠加在桐峪寺组含碳质岩性层内；断层破碎带内发育构造透镜体、拖拉褶皱、断层泥及次级断裂。其总体显示压扭性质，断层活动晚期具张扭特点。



F<sub>1</sub> 断层北部与之近于平行的 F<sub>2</sub> 断层, 是矿区另一重要断裂构造, 两断层间相距有一定变化, 大致变化在 60~360m 之间。两断层东部产状均有向北东—北东东向偏转的趋势。F<sub>2</sub> 断层发育在桐峪寺组下岩段与中岩段地层接触带上, 其地质特征及产状与 F<sub>1</sub> 断层基本相同。两断层之间完全控制着马鞍桥剪切构造带及产于其中的金矿床。

由矿区范围内发育的韧性剪切构造、F<sub>1</sub>、F<sub>2</sub> 断裂组成的控矿构造, 它们相互之间及其与矿化总体存在以下规律。F<sub>1</sub> 与 F<sub>2</sub> 断层当属研究区韧性剪切构造带的组成部分, 且为韧性变形序列一幕; F<sub>1</sub> 和 F<sub>2</sub> 平行分布, 两者限制了韧性剪切变形带的展布范围; F<sub>1</sub> 断层直接叠加在韧性剪切变形带中, 靠近 F<sub>1</sub> 断层附近或 F<sub>1</sub> 断裂之中金的矿化与蚀变作用较强, 并形成工业矿体或矿化体, 相反, F<sub>2</sub> 断层附近矿化与蚀变明显减弱; F<sub>1</sub> 断层变形强烈和规模相对较宏伟地段, 碳质片岩发育, 矿体规模较大, 矿石品级较高。

此外, 矿区内发育的断层还有北东向、北西向派生次级断裂, 其规模较小, 且为成矿后期产物, 该断层往往对矿体具有破坏作用, 间接说明近东西向韧性剪切变形序列与金成作用密切。

## § 2.4 岩浆岩

在马鞍桥金矿区带西南部出露香沟花岗岩株, 东南部有花岗斑岩脉群产出。

### § 2.4.1 香沟花岗岩体

该岩体侵入于矿区西南中石炭统地层中。岩体东西长约 2150m, 南北出露宽约 300~1050m。南部侵入边界较平直, 北界凸凹不平, 东西两端均有分枝。南侧侵入接触面产状倾向为 185°~190°, 倾角 50°~60°, 北侧侵入接触面产状倾向为 132°~190°, 倾角 36°~76°。该花岗岩 Ar—Ar 等时测年为 200Ma。

岩石为灰白色, 块状构造及似斑状结构, 中—粗粒斑晶主要由斜更长石组成, 少量为石英, 基质中由更长石、石英、黑云母、微斜—条纹长石组成, 白云母少量。副矿物由锆石、榍石、磷灰石、磁铁矿组成。岩石为似斑状黑云斜长花岗岩、黑云斜长花岗岩及似斑黑云花岗岩, 岩体内部偶见石英脉体, 局部有微弱的黄铁矿、方铅矿与黄铜矿矿化。

香沟岩体北部因韧性剪切带和 F<sub>1</sub> 断层的构造作用影响, 局部地段出现糜棱岩化, 片理化与控制金矿体的构造变形带完全相同, 说明控矿构造亦影响了岩体部分。然而, 岩体岩石的构造变形造成黑云花岗岩的退化蚀变, 可见岩石的绿帘石化、绿泥石化与

绢云母及轻微的碳酸盐化。但是，至今未见其中有意义的金矿化现象，也间接表明本区岩浆活动与金矿床形成无直接的成因联系。

### § 2.4.2 脉状花岗斑岩

主要为斜长花岗斑岩脉和花岗岩脉，出露于矿区东南部。该脉体群呈近东西向展布，单脉宽为 10~40m，延长 40~400m 不等。脉体亦受韧性剪切构造改造，个别地段出现糜棱岩化，其糜棱理与区域片理方向一致，未见任何金的矿化与蚀变现象。

## § 2.5 金矿带地质特征

研究区出露的金矿带主要有两条，其发育在旭奋子—柳林沟次级复背斜的南北翼由上泥盆统桐峪寺组上岩段容矿与含矿岩系及叠加其上的韧性剪切带共同组成。其次级复背斜南翼者称之为南矿带，大致沿本区西部大黑沟向东经正南沟—汪家山沟—柳林沟近东西一线展布延伸。北矿带位于次级复背斜北翼，沿沙梁子—双庙东西一线延伸，矿带均有金矿床产出。

### § 2.5.1 南部金矿带

是本区成矿最佳的矿带，大型马鞍桥金矿床产于其中。南矿带中韧性剪切构造带所叠加的地层是由上泥盆统桐峪寺组上岩段上部岩性层组成，其南侧由碳质片岩限定，北界有过渡性质，剪切变形强度明显减弱。矿带总体走向  $170^{\circ} \sim 210^{\circ}$ ，南倾倾角  $35^{\circ} \sim 50^{\circ}$ ，宽度约为 60~150m，延长大于 10km。矿带在走向上与倾向上呈舒缓波状。工业矿体主要发育在矿带剪切构造强烈地段，桐峪寺组上岩段发育完整位置。

发育完整的南矿带主要由出露齐全的容矿或含矿地层，经韧性构造变质变形，分别由紫灰色黑云母绢云母石英千糜岩、灰白色铁白云质—钙质绢云千糜岩及黑色碳质片岩组成矿带中的紫色矿化带、白色矿化带和黑色矿化带。三种矿带中均有工业矿体的产出。

### § 2.5.2 北部金矿带

位于马鞍桥金矿北部，其与南部金矿带属同一构造体系，已发现刘家滩小型金矿和多处金矿化点。北矿带北界由前震旦系秦岭群变质岩系所限定，南界限定在桐峪寺组上部岩性层中。北矿带容矿或含矿岩系发育程度不及南矿带，剪切构造规模亦小，是影响找矿前景的主要不利因素。矿带总体产状为倾向  $192^{\circ}$  左右，倾角  $49^{\circ}$  左右。矿化与蚀变特征及矿石类型与南矿带基本相同。

### § 2.5.3 金的矿化富集特征

金的矿化现象在成矿带内普遍存在,但是,构成工业矿体是十分局限的。通过综合观测分析表明,矿带内金的富集作用主要与下述三要素有密切关系:①有利的容矿与含矿岩系,本区含矿岩系为细碎屑岩组成,岩石中较富含碳质、硫铁质、钙质及大量泥质,对微量金有较好的吸附作用。另外,通过岩石学及同位素地球化学研究,不可排除其中所含火山凝灰成分,这对岩系形成的同生沉积期,可以提供一定的成矿物质。恢复含矿岩系的岩相古地理特征,是在较深水、水动力条件较强环境下形成,与上述岩石学研究是吻合的。②容矿与含矿岩系在碰撞成陆的造山活动时期,强烈的韧性、韧—脆性剪切构造作用的叠加,为岩系本身水—岩交换化学反应提供了必要条件,促使金等成矿物质的活化与迁移,同时造就了含矿流体运移的良好通道与成矿物质沉淀富集的有利空间。对于该区金矿床的形成起着较关键作用。③与热液活动有关的矿化与蚀变是水—岩交换化学反应的有力证明,它们曾是金等成矿物质的重要携载体,最终成为与金共同沉淀的共生组分,是重要的成矿与找矿的地质标志。与金矿化有关的矿化蚀变主要为黄铁矿化、磁黄铁矿化、毒砂化、白铁矿化、硅化、铁白云石化。

### § 2.6 矿体特征

按矿体集中分布程度,将马鞍桥金矿床划分为东矿段、中矿段和西矿段。经勘查探明的工业矿体位于东矿段和中矿段,东矿段勘探程度较高,共圈出 6 个工业矿体,其中 K<sub>2</sub>、K<sub>5</sub> 为主矿体。中矿段矿体数量较多,其中 K<sub>18</sub>、K<sub>19</sub> 矿体规模较大。西矿段亦发现较好的矿化体,深部已得到验证,有待进一步开发。

东矿段限定于 0—23 勘探线范围,共圈定 6 个工业矿体, K<sub>2</sub>、K<sub>5</sub> 规模较大,其余为平行小矿体,与 K<sub>2</sub>、K<sub>5</sub> 在空间上呈左行雁行排列。矿体与围岩界线为过渡关系。

中矿段限定于 8—68 勘探线之间,其中 8—20 线之间产出 K<sub>8</sub>、K<sub>9</sub>、K<sub>10</sub> 工业矿体,矿体规模中等,含金品位较好。46—68 线范围产出 K<sub>18</sub>、K<sub>19</sub> 工业矿体,规模较大。上述矿体均呈平行斜列展布关系,其中 K<sub>18</sub>、K<sub>19</sub> 水平相距 40m 左右。矿体近东西方向展布,南倾、倾角中等。

对于东矿段和中矿段已控制的 K<sub>2</sub>、K<sub>5</sub>、K<sub>18</sub>、K<sub>19</sub> 等主矿体,其形态均为透镜状体,或为透镜状扁豆状体,矿体局部的膨缩变化可变化为莲藕状—豆荚状。大量的矿体圈定使用的测金分析样品,金的平均品位变化于(4.82~5.28×10<sup>-6</sup>),属于低品位品级的金矿床。

§ 2.7 矿石特征

§ 2.7.1 矿石类型

根据容矿岩石类型将矿石划分为 3 种类型，它们的主要地质特征如表 2—1 所述。由表可见，尽管不同矿石类型的赋矿围岩明显不同，然而它们的矿化与蚀变特征是近于相同的。

§ 2.7.2 矿石构造与结构

表 2—1 马鞍桥金矿床原生矿石类型及其特征

特征 \ 类型		紫矿石类型	白矿石类型	黑矿石类型
矿石颜色及产生原因		暗紫色 赋矿岩石强烈黑云母化所致	灰白色 赋矿岩石富含钙质、铁白云石所致	黑色 赋矿岩石富含炭质所致
赋矿围岩		黑云母变砂岩黑云母石英千枚岩、斑点状黑云绢云千枚岩	钙质千枚岩、铁白云质绢云千枚岩、钙质绢云石英千枚岩	碳质石英片岩、碳质绢云千枚岩、碳质方解绢云千枚岩
地层剖面位置		D <sub>3</sub> t <sup>3-3</sup> 下岩性段	D <sub>3</sub> t <sup>3-3</sup> 中岩性段	D <sub>3</sub> t <sup>3-3</sup> 上岩性段
金属矿物	主要	黄铁矿为主、磁黄铁矿次之		
	次要	毒砂、黄铜矿、闪锌矿、白铁矿、辉锑铅矿、锑铋碲矿		
矿石构造		细脉浸染状、条带浸染状、条痕—浸染状、团块—浸染状		
矿石结构		自形一半自形、它形、交代残留、包含、填隙、碎裂		

(1) 矿石构造

细脉—浸染状构造，是由两期矿化阶段叠加一起的结果，早期阶段黄铁矿矿化呈稀疏浸染分布，进而叠加稍晚期矿化阶段的细脉、网脉状黄铁矿、磁黄铁矿所致。

条带浸染状构造，容矿岩石由于变质分异形成某种矿物成分相对集中的成分条带，它们对矿化蚀变组分具有不同的选择性，从而导致金属硫化物矿物及其蚀变组分在其中的浸染程度疏密不均，形成条带浸染状分布形式。

条痕—浸染状构造，即早期矿化阶段的矿物成分呈浸染状，再次叠加较晚期矿化阶段的条痕状矿化硫化物所致。

团块—浸染状构造，它们可能由同一矿化阶段的矿化蚀变组分，在不均匀的交代作用下，形成矿化蚀变组成相对集中呈团块，以及稀疏分散呈浸染状，并且两者混生

在一起特征。也可能由不同矿化阶段的矿化蚀变作用叠加，往往形成由早期矿化阶段的矿物构成的稀疏浸染和在较晚期矿化阶段的矿化蚀变产物呈大小不等的团块聚集体所构成。

## **(2) 矿石结构**

自形一半自形粒状结构：多由浸染状黄铁矿毒砂构成，黄铁矿呈规则多边形，由热液期矿化作用形成，或中浅变质分异重结晶形成。毒砂呈菱形、柱状粒晶与黄铁矿混杂分布，属热液矿化期产物。

半自形—他形粒状结构：为矿化热液中、晚期产物，由于矿化蚀变较强烈，黄铁矿及毒砂等来不及充分结晶，造成矿物晶粒规则边缘和不规则边缘同时存在。

他形粒状结构：主要由结晶习性较差的磁黄铁矿、闪锌矿、黄铜矿组成，它们多呈不规则晶粒边缘或呈填隙状他形粒状。其往往形成晶出较晚。

包含结构：早期晶出的黄铁矿、毒砂细晶被包含于稍晚期晶出的磁黄铁矿、闪锌矿中。

乳浊状固溶体分离结构：由较浑圆的他形微细粒黄铜矿，较均匀分布于闪锌矿他形晶粒中。

交代残余结构：较早期矿化作用晶出黄铁矿，被较晚期磁黄铁矿晶出时交代呈不完整晶粒或不规则孤岛状残晶。

粒间与填隙结构：即矿化晚期晶出矿物沿先期矿化阶段晶出矿物的粒间生长，两者之间空隙未被填满，称粒间结构。若晚期矿化阶段晶出的矿物呈他形粒状完全充填于先期矿化阶段形成的矿物之间，称填隙结构。

## **§ 2.8 矿石矿物特征**

马鞍桥金矿床矿石矿物组成种类较复杂。但是，常见矿物较单调，且广泛分布，而含量较少的矿物常局限分布，常见矿物为黄铁矿、磁黄铁矿；少见矿物为毒砂、白铁矿；少量矿物为闪锌矿、黄铜矿；微量矿物为锑铋碲矿、辉锑铅矿、辉锑铜铅矿、银金矿等。脉石矿物依次为石英、黑云母、铁白云石、方解石、钾长石、钠长石、绿泥石、菱铁矿、重晶石等。

### **§ 2.8.1 黄铁矿**

是矿床中各种矿石类型的主要矿化金属矿物，矿石中的黄铁矿往往由不同成因、不同矿化阶段黄铁矿叠加共生。主要由成岩—变质期黄铁矿和构造热液期黄铁矿组

成。成岩—变质期黄铁矿多受容矿岩石的变质分异成分条带的影响，呈稀疏条带状散布或斑点状分布容矿岩石中。热液矿化期黄铁矿多沿岩石构造变形组构中充填交代，形成细脉—浸染、条带—条痕浸染、团块—浸染状体。其中显示热液中期矿化阶段细脉状、条痕状、黄铁矿含金性较好，这与显微镜下观测资料是一致的。

### § 2.8.2 磁黄铁矿

是矿床中分布较广泛，含量较高的金属矿物之一。具有成岩—变质期和构造热液期两成因类型。显示出磁黄铁矿在变质作用期和热液矿期的明显含金性。

### § 2.8.3 毒砂

在矿床中分布普遍，但含量较少。其形成具有多期多阶段矿化特征。热液矿化早期阶段，毒砂呈细微粒状条带浸染或包裹于磁黄铁矿晶粒中。热液化中期阶段细粒、微细粒状毒砂多与细粒磁黄铁矿、黄铁矿共生，单矿物分析含金为  $29.8 \times 10^{-6}$ 。热液中—晚期阶段毒砂，多与白铁矿或粗粒黄铁矿共生，单矿物分析含金  $61.6 \times 10^{-6}$ 。

### § 2.8.4 闪锌矿

矿床及赋矿岩石中发现闪锌矿呈深色和浅色两种类型。一般浅色闪锌矿形成较早，在矿容矿岩石的成岩—变质期中发现显微细粒零星散布，与之共生矿物为黄铁矿及黄铜矿。深色闪锌矿出现在热液矿化期中—晚期阶段，多呈团块或不规则粒状聚晶分布，与黄铜矿共生一起，部分与黄铜矿组成固溶体分离结构。

### § 2.8.5 黄铜矿

在矿床中含量不高，但较常见。一般具有以下几种产出类型。呈微细粒零星散布矿化围岩中，可能为成岩—变质期预富集期矿化产物。热液中—晚期矿化阶段黄铜矿呈不规则细粒与闪锌矿共生一起，或沿裂隙呈细脉浸染分布，或呈乳浊状包裹于闪锌矿中。在热液晚期石英细脉中，有黄铜矿星散分布

### § 2.8.6 银金矿

为矿床中主要的金矿物。据镜下对金的赋存状态查定与统计，约 75% 的银金矿分布于脉石矿物粒间，分布于金属矿物粒间的银金矿仅占总量的 2.25%。产于矿物中的包裹体金约占 9%，多包裹于脉石矿物、黄铁矿、磁黄铁矿与毒砂中。裂隙金约占 7%，主要分布于黄铁矿、磁黄铁矿与脉石矿物显微裂隙中。

### § 2.8.7 铋碲矿—铋碲矿

在矿石中呈自形板条状微细晶聚集，或沿磁黄铁矿晶粒边缘分布。显微镜下为亮

白—灰白色，强非均质性。

### § 2.8.8 辉锑铜铅矿

仅在矿体个别地段分布，尤其在碳质片岩为容矿岩石的黑矿中较多见。矿物为不规则粒状聚晶，分布于磁黄铁矿、黄铁矿粒间。为矿化晚期阶段的产物。矿相显微镜下呈亮白—灰白—微棕灰白反射色，强非均质性，矿物成分主元素多呈变质同象替代关系，因此主元素含量变化较大，形成辉锑铅矿—辉锑铜铅矿—过度系列矿物。

### § 2.8.9 石英

矿石中的主要载金和矿化蚀变脉石矿物，是个矿化期和矿化阶段分布最广、含量较高的矿物，这与容矿岩石以碎屑岩为主，原岩中二氧化硅成分较丰富有直接关系。

## § 2.9 矿化与蚀变

马鞍桥金矿床矿化蚀变作用较强烈，与金有关的矿化与蚀变类型较多样，择其主要叙述如下。

### § 2.9.1 黄铁矿化

是矿床中矿化作用最主要的表现形式。按其成因可划分为成岩变质期和热液期黄铁矿两种。前者为容矿岩石沉积成岩和中—浅变质作用期形成，成岩期黄铁矿均已重结晶，呈零星散布岩石中，并在中—浅变质作用下，或呈黄铁矿细粒聚晶分布，或呈聚合斑点状分布岩石中。成岩—变质期黄铁矿是容矿岩石中形成金的预富集作用的主要表现形式之一，其单矿物分析含金为  $0.23 \sim 0.25 \times 10^{-6}$ 。热液成矿期黄铁矿具有多阶段矿化特征，伴随多期构造变形同步发生。早期矿化阶段黄铁矿多沿容矿岩石中发育的糜棱岩化与片理化呈稀疏浸染或条带浸染分布。中期矿化阶段黄铁矿与上述变形构造进一步发育的韧—脆性破裂理化作用同步，呈细脉状、网脉状、条痕状分布，两者的叠加构成矿石中的细脉浸染状等矿化结构类型。晚期矿化阶段黄铁矿以较微弱形式产于石英—方解石细脉中，该脉体是晚期脆性变形构造的特征。由于马鞍桥金矿床金的独立矿物多以粒间、显微裂隙形式充填形成，因此，主要金属矿化矿物单矿物中的含金性较差。

### § 2.9.1 磁黄铁矿化

亦是矿床中分布较广，含金性较好的矿化矿物之一。它的产出形式和成因类型与黄铁矿化一致，成为矿床中最为密切共生的矿物组合，成岩—变质期磁黄铁矿具有散布状或斑点状聚晶分布两种形式，亦为矿化预富集期主要表现形式之一，单矿物分析

含金为  $0.15 \sim 1.00 \times 10^{-6}$ 。热液矿化期磁黄铁矿亦表现为多期矿化阶段，但其分布与含量远不及黄铁矿。然而，银金矿、铋碲矿等多见分布中期磁黄铁矿晶粒边缘，可见其与有用矿化的密切程度。

### § 2.9.3 硅化

是矿床中蚀变最为普遍和强烈的类型，特别在多期多阶段的金属硫化物矿化作用中，均有硅化的伴生，而且，金的矿化作用随硅化作用的强烈程度而加强。硅化作用在变质作用期有两种表现形式，其一为变质分异成分条带，大致集中的变晶石英与混杂其中的绢云母、少量硫化物呈条带；另一种形式则为变质期形成的平行石英脉体，与区域构造线理方向平行，脉体较纯净，含金性差。热液期硅化形式多样，早期者为浸染交代较均匀分布于变形岩石中。中期者以显微细脉—网脉状分布，与不同含量的硫化物共生一起。晚期硅化体多沿脆性断裂带充填，其中碳酸盐化较发育，有益的金属硫化物矿物较少。

### § 2.9.4 黑云母化

为研究区较典型的区域变质及局部动热变质带产物。在含铁的细碎屑岩中经中—浅变质作用更为发育。在区域变质范围中，黑云母以细片—鳞片状半定向分布于变砂岩、含砂质千枚岩中。它的半定向排列代表了岩石的区域变质变形方向，与矿化有关的黑云母化，常在区域变质带上，经韧性剪切构造的叠加，由黑云母化组成变质分异条带和由黑云母组成的斑点状构造，并常与成岩—变质期黄铁矿、磁黄铁矿共生。

黑云母化是容矿岩石中金发生预富集作用的重要指示矿物，黑云母化作用的出现，反映出容矿岩石中铁质、钾质等与金活化有密切关系组分的流动和迁移。

### § 2.9.5 绢云母化

绢云母化也是矿区较发育的一种蚀变作用，尤其在韧—脆性剪切变形带更为发育。按其成因及空间分布，绢云母大致具下述几种类型。

(1) 区域变质成因，广泛分布于由碎屑岩、泥岩及泥灰岩组成的中—浅变质岩中，大多由泥质物重结晶所致，形成多种类型的绢云母千枚岩。区域变质作用的绢云母化原岩一般含铁质较低。

(2) 韧性变形构造退色化成因绢云母，大多由区域变质形成的黑云母化带，后经韧性变形构造带叠加，而使之退色化，绢云母替代黑云母的同时，有少量氧化铁粉末和榍石析出。黑云母退色化带，即构造变色带，是矿化热液组分活动的有利场所，



退色化带中析出的铁质可转化为热液含金硫化物沉淀所需的铁质。因此，韧性剪切变形带中的退色化带，往往是工业矿体定位的有利位置。

（3）热液蚀变绢云母，是从含矿热液中伴随矿化作用晶出的，多沿构造破裂裂隙充填，呈显微鳞片集合体与硅化、碳酸盐化共生。

### § 3 剪切带的构造演化及成矿控制因素

#### § 3.1 剪切带的演化

##### § 3.1.1 早期自北往南推覆——变质、变形

该期推覆系加里东末期华北板块往南仰冲引起，促进了板块构造逆冲带的发展，造成“王家河组”发生低绿片岩相区域变质，形成了一系列紧密型褶皱和断裂，但由于受后期构造的叠加、改造，原始总体面貌已不完全清晰，但从残存迹象表明由北往南褶皱由紧闭变得开阔些，反映了早期构造作用由北往南具逐渐减弱趋势。该期推覆构造相应引起的塑性变形较弱，主要表现为变质矿物的形成、相应变质分异脉体析出及区域片理化。

##### § 3.1.2 自南向北逆冲推覆脆—韧性剪切——矿体形成、初步定位

该期构造变形发生在印支期，即岩体（200Ma，张国伟等，1988）侵位之后，强度大，面理置换程度强，标志明显（图3—1、3—2、3—3）。

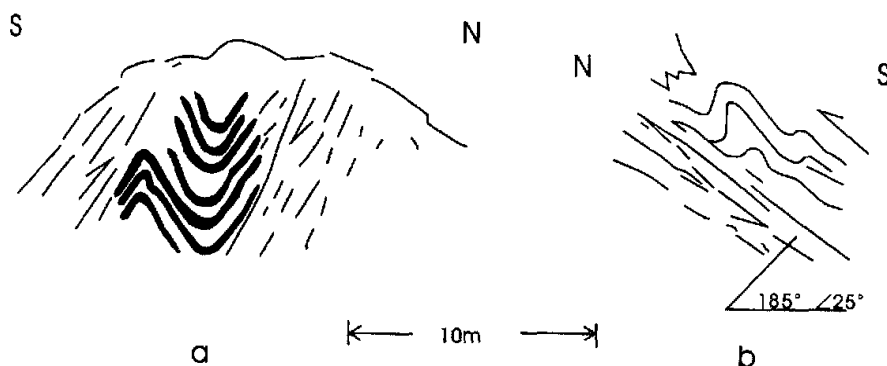


图3—1 清水河D中显示的自S→N逆冲推覆脆—韧性剪切

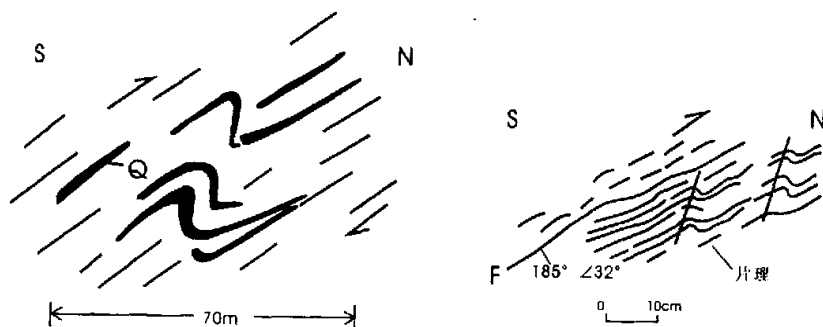


图3—2 自南→北逆冲推覆脆—韧性剪切  
(河西K采场)

图3—3 自南→北逆冲推覆  
(1325主巷道K)

### (1) 脆—韧性剪切带主要标志

含矿带中宏、微观标志相当丰富：构造透镜体、石香肠、雁列脉、膝折脉、无根褶皱、A型褶皱、书斜构造（图版 I -1）、核幔结构（图版 I -2）、旋转碎斑（图版 I -3）、S-C 组构（图版 I -4）、压力影（图版 I -5）、云母鱼、石英变形纹、变形条带、矿石矿物（金属、非金属）的拉长定向构造（图版 I -6）等，是该脆—韧性剪切带的定性佐证。

### (2) 对成矿作用的贡献

在变质作用和岩体热影响促使矿源层形成和叠加中温矿化基础上，剪切应力和热效应可使含矿流体再次活化、迁移，更广泛地吸取围岩中的有益成矿元素。而且，脆—韧性剪切带也为深部含矿流体创造了良好的通道，其扩容空间成为含矿流体循环和矿质沉淀的最好场所。与此同时，也可使变质分异石英脉体和压熔石英进一步活化、迁移和吸引成矿物质的再度汇集。均有利于成矿物质再次被改造、富集。至此，金矿体已基本成型，并初具规模，赋存于强变形带扩容空间与泥、钙、碳质物偏高的复合部位。由于该期逆冲推覆脆—韧性剪切的主应力方向在  $F_1$  中指示为早期属南盘向西北斜冲的压扭性，<sup>[16]</sup>所以，也必然会造成含矿带上盘向西、下盘向东的局部走滑，进而使矿体被改造定位，同时也造成脉体和部分大理岩相应改造定位，在平面上构成局部的顺时针旋转斜列组合，在剖面上构成上冲叠瓦状排列（图 3—4、3—5、3—6），并显

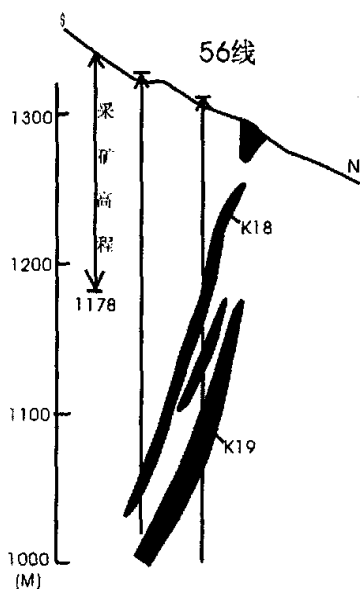


图3—4 矿体呈上冲叠瓦状排列

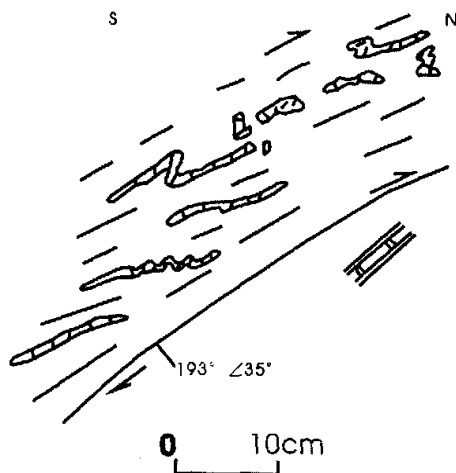


图3—5 石英脉体呈上冲叠瓦状排列

示出串珠状展布特征。综上所述,印支期自南向北的逆冲推覆(走滑)脆—韧性剪切作用,不仅使金矿体基本成型、初具规模,而且也使其初步定位,并控制了矿体主要赋存部位、形态特征和展布规律。

### § 3.1.3 走滑脆—韧性剪切

#### ——改造定位

印支期自南向北逆冲推覆剪切构造作用发生之后,区域上又发生了较大规模的近东西向走滑脆—韧性剪切作用,这可从区域地层中较多水平拉伸线理得到佐证。而且,在含矿带中也有较明显反映。不仅在矿区地质图中既可看出大理岩被拉伸成构造透镜体而呈逆时针旋转斜列式组合的特征及主矿体同样被走滑所牵动拉伸呈相应的斜列式组合的特征,而且在含矿带中也发育大量石英脉体的柔褶现象(图3—7)。走滑应力判别分析表明,该期走滑脆—韧性剪切作用在矿区内主要表现为上盘(南部)往东,下盘(北部)往西的走滑特征(图3—7)。此外,矿体与石英脉体被进一步拉伸呈透镜状、串珠状的展布特征也与此次构造变形有密切关系。因此说明东西向走滑脆—韧性剪切作用对成矿的贡献主要应表现为对矿体的改造定位。

### § 3.1.4 伸展构造——最终

#### 定位

印支末期—燕山期区域内一系列

倾向朝南的正断层所展示的伸展构造较为发育,不仅促使了陆内全面造山,致使

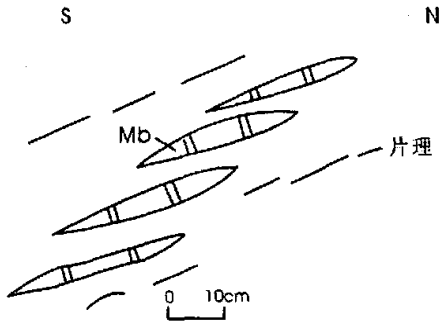


图3—6 大理岩呈上冲叠瓦状排列 (1071中段CM11北端)

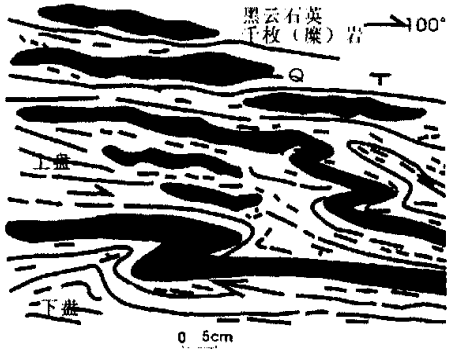


图3—7 K2中石英脉体显示的走滑运动方向及串珠状展布特征 (1025中段4线北穿, 上盘向东、下盘向西)

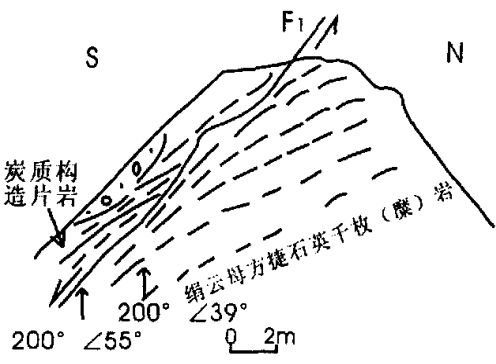


图3—8 伸展构造破坏矿体 (1235坑口露采场)

“王家河组”及其相应的含矿带、矿体从5~8km深的地下抬升到现今地表,而且在小王润—板房子一线构成明显的拉伸断陷盆地,出现了白垩纪磨拉石建造。含矿带内以F<sub>1</sub>(晚期显示张扭性正断层性质)为代表的一组正断层反映了该期构造踪迹,主要表现为对矿体的破坏和改造,并使其内部结构复杂化,在剖面上出现部分下滑式叠瓦构造、似多字形构造展布格局(图3—8、3—9、3—10)。因此,可说明伸展构造一方面促使矿床抬升出露地表,另一方面则主要是破坏和改造矿体,使其内部结构复杂化,并最终定位。

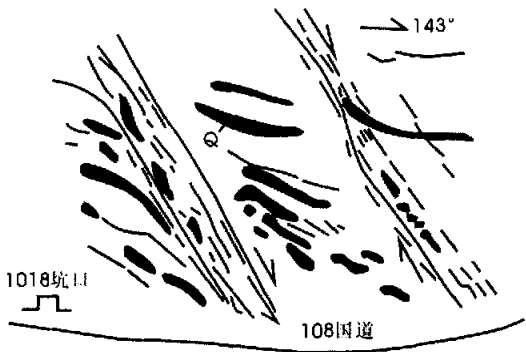


图3—9 伸展构造破坏矿体使内部结构复杂化

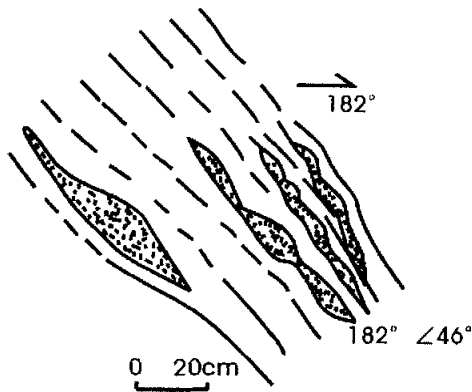


图3—10 K<sub>2</sub>中石英脉体受伸展构造影响呈下滑式叠瓦及串珠状展布 (1025, 8—1)

### § 3.2 变质作用与改造

如前所述,早期自北往南推覆,发生了广泛的埋藏性区域变质、变形。促进含矿带岩石产生了低温低压系列的低绿片岩相递进变质作用,变质矿物组合以“黑云母—绢云母—绿泥石—方解石—含铁碳酸盐

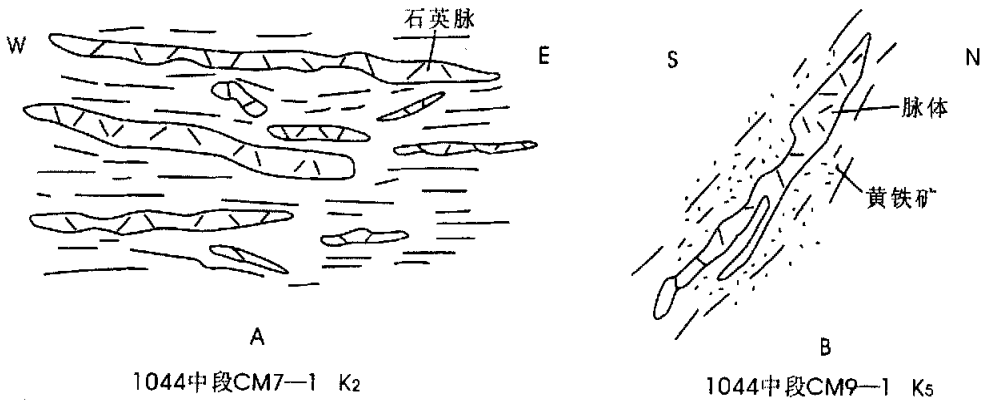


图3—11 矿体中石英脉体及黄铁矿聚集现象

—斜长石”为特征，并伴有黄铁矿、磁黄铁矿等金属硫化物。与此同时，也促使 Au 发生了赋存状态的转变，从原始沉积矿物中解体出来形成单独矿物相——自然金，其大部分转入脉石矿物粒间，并形成少量裂隙金、包体金，奠定了金嵌布状态的基础。

另一方面，变质分异作用促使岩石中 SiO<sub>2</sub> 大量析出，形成细小石英脉体群

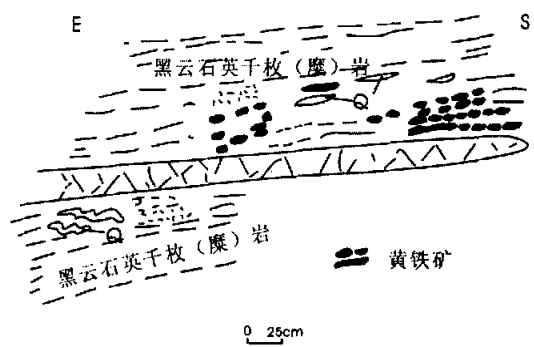


图3—12 矿体中脉体附近黄铁矿聚集并显示粒度变化规律  
(1071中段13线南穿K<sub>5</sub>)

(图 3—11A)，并在分异作用较强地段出现中、小规模石英脉体群。伴随变质分异石英脉体的出现，不仅使围岩中的黄铁矿往其周围汇集，出现了粒度由粗—细的规律性变化(图 3—11B、3—12)。而且影响了围岩中自然金也以不同的嵌布形式往其汇集。据 K<sub>2</sub>、K<sub>5</sub> 矿体中部分变质分异石英脉体微量金分析表明，含 Au 性可达  $300 \times 10^{-9}$  ~  $900 \times 10^{-9}$ ，已高于部分含矿岩石，甚至在个别变质分异石英脉体中，含 Au 性已  $> 10^{-6}$ ，连分布于石英脉边部的黄铁矿平均含 Au 性也已达  $22.5 \times 10^{-6}$  [16]，而且，沉积变质重结晶之散布状黄铁矿和斑点状磁黄铁矿，其含 Au 性也已分别达  $0.23 \times 10^{-6}$  ~  $0.25 \times 10^{-6}$  和  $0.15 \times 10^{-6}$  ~  $1.00 \times 10^{-6}$  [18]。上述现象均说明，变质作用促使原始沉积物中的 Au 形成单独矿物相——自然金，与变质矿物共生，向变质分异石英脉体汇集并部分进入变质作用产物(石英脉体、金属硫化物)中，奠定了金的基本嵌布类型，改变了矿源层中金的赋存状态和展布格局，起到了改造和局部形成矿化的作用。

### § 3.3 岩体热影响

香沟花岗闪长斑岩小岩体(200Ma)及其同期派生岩脉长轴与脆—韧性剪切带平行，而又受到该带的影响糜棱岩化，说明岩体是在剪切作用初期同时或之前侵位的。据剖面原生晕测量，该小岩体 Au 平均含量为  $2.66 \times 10^{-9}$ ，不仅明显低于地壳克拉克值( $4 \times 10^{-9}$ )和正常花岗岩的平均值( $4.5 \times 10^{-9}$ )，而且，更明显低于“王家河组”( $40 \times 10^{-9}$ )及含矿带岩石( $233 \times 10^{-9}$ )中 Au 的含量。因此，该岩体不具备提供矿物质 Au 的条件。然而，岩体中 Pb、Zn、Ag 局部可形成异常，并在其周围呈环状分布，岩体内也可偶见含黄铁矿、方铅矿、黄铜矿和石英脉，说明岩体的热影响也曾促使含矿流体活化、运移，并形成局部中温矿化。结合矿体内出现部分中温金属矿物叠

加成矿现象以及含矿带岩石中碳酸盐岩出现部分透闪石、阳起石化,砂泥岩中斜长石出现绿帘石化,黑云母出现金红石化等局部现象,也可间接说明岩体曾对矿化起了热影响作用,它不仅可促使含矿流体活化、运移、循环,广泛地吸取围岩中的高含量有益成矿元素,叠加部分中温元素 Pb、Zn、Ag、As、Sb 矿化,而且也有利于金矿化更趋向富集、成熟和物质组分复杂化。

### § 3.4 马鞍桥金矿床黄铁矿的含金性

#### § 3.4.1 黄铁矿的主要特征

黄铁矿是矿床中各种矿石类型的主要矿石矿物,矿石中的黄铁矿往往由不同成因、不同矿化阶段黄铁矿叠加共生。从露头 and 镜下可以看到,马鞍桥金矿的矿化过程,按温度和矿物组合可明显划分为两个蚀变阶段。第一阶段为高温的热液交代过程,此阶段又可分为两期,第一期为热液进入容矿地层后交代黑云母形成磁黄铁矿和黄铁矿,及黑云母—磁黄铁矿;黑云母——黄铁矿;第二期为金属矿物广泛交代期,镜下见有磁黄铁矿—黄铁矿,磁黄铁矿—毒砂;黄铁矿(早期)—毒砂,黄铁矿—闪锌矿等。微粒金的析出多与黄铁矿、毒砂、黄铜矿交代磁黄铁矿,毒砂交代黄铁矿有关,其中与黄铁矿的交代更为密切,自然金多出现在 S 面理中黄铁矿的边缘。

第二阶段为低温强动力环境下的退变质蚀变,岩石中广泛出现绢云母化和绿泥石化,露头和薄片到处可见黑云母被蚀变为绿泥石,绢云母则沿 C 面理定向排布。此期的黄铁矿在 C 面理中形成极细的粒度( $<0.003\text{mm}$ )定向状排列,形成流动构造。这一期黄铁矿的含量虽然只占全部黄铁矿含量之 10% 以下,但其却是工业矿体的主要形成阶段,镜下可见显微金赋存于 C 面理的边缘脉石中。根据化学分析, C 面理愈密集,愈发育者,其品位也愈高,但  $10\times 20$  倍镜下却见不到自然金,说明其粒度及其细微,显系强烈剪切作用细粒化的结果。另外,镜下尚可见到一类自形非常完好的黄铁矿广布全视域 S—C 面理之中,且未遭受变形或变位,说明它们是韧性剪切期后。

如此看来,仅黄铁矿即至少有四期,其中第一期为预富集期,第二、三期为成矿期,第四期黄铁矿不含矿,不同矿化阶段黄铁矿特征见表 3—1。

对黄铁矿进行探针分析,根据 8 个样品,8 个元素(表 3—2)的相关分析表明(图 3—13), S、Fe 和 Co、Se 两组为一大群。说明 Co、Se 常与 Fe 呈类质同相置换,而 Au、Ag 则作为独立成分混入黄铁矿中,当 Au、Ag 含量增多时, S、Fe 的含量减少。另外,经分析,黄铁矿中 Fe 的含量接近理论值,硫的含量略低于理论值<sup>[22]</sup> (S

53.45%,Fe 46.55%)。

表 3—1 马鞍桥金矿床不同成因、不同矿化阶段黄铁矿特征

		地质产状	晶体形态	粒径 (mm)	含金性 ( $\times 10^{-6}$ )
成岩—变质 期黄铁矿		散染状、斑点状分布赋 矿围岩中	立方体多见	0.01~0.05	0.23~0.25
热液 改造 期黄 铁矿	I	浸染状、条带浸染分布 变形赋矿围岩中	立方体、五角十二 面体	0.03~0.05 少量 0.5~2.0	1.80
	II	细脉浸染状、细网脉状 分布变形赋矿围岩中	五角十二面体及 其与立方体聚晶	0.02~0.05 少量 0.07~0.1	12.39~53.4 平均 39.93
	III	石英脉、石英—方解石 细脉中	五角十二面体、八 面体、立方体及其 聚晶	0.004~0.07	8.35
	IV	薄膜状细脉状	全自形晶、晶体复 杂		不含金

表 3—2 马鞍桥金矿床中黄铁矿的化学成分

元素 样号	Fe	S	Se	Au	Cu	Ag	Ni	Co
1250-86-1	46.520	51.410	0	0	0.022	0.066	0.216	0.134
1250-86-2	45.790	52.000	0	0	0.039	0	0.183	0.067
1250-86-3	44.870	50.350	0	0	0.006	0	1.330	0.119
1314-104-1	46.150	51.230	0	0	0.134	0	0.072	0.120
1314-104-2	46.570	52.960	0.052	0.322	0	0	0	0.311
1235-80-1	46.560	52.740	0.030	0	0.011	0	0.161	0.218
1005-15-1	46.650	52.420	0	0.040	0	0	0.017	0.011
1005-15-2	46.940	52.760	0	0.631	0.027	0.052	0.007	0.149

(长安大学探针室, JOEL—JXA8100)



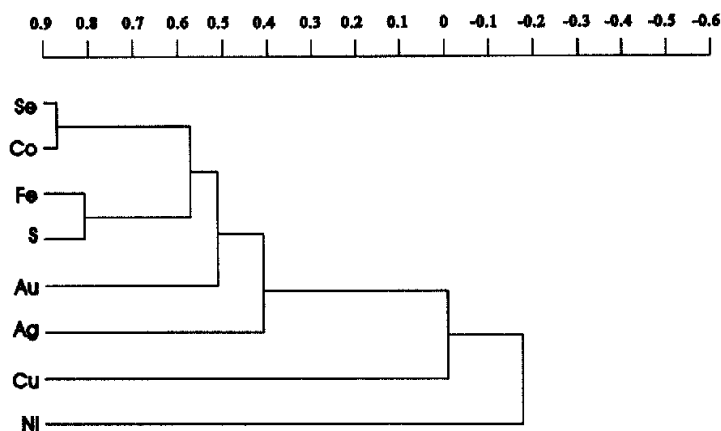


图 3—13 黄铁矿中各元素的聚类分析谱系图

### § 3.4.2 黄铁矿的含金性

黄铁矿与金的矿化关系十分密切。无论是在蚀变围岩中，或是在石英脉的内部，黄铁矿的含量越高，金的矿化就越显著。例如在黄铁矿化的围岩中，金的含量普遍增高。

如前所述，在四期的黄铁矿中，二、三期为主成矿期，黄铁矿的晶形不同，粒度不一，其中金的含量也不相同。一般来说，立方体和五角十二面体及其聚晶的黄铁矿，与淡灰色石英细脉相伴产出的黄铁矿，含金较好，另外，颗粒越小、晶形越破碎，则其中的含金量就越高；晶形越完整，尤其是呈立方体晶形的黄铁矿、颗粒越大，其中的含金量就越少。这是该地区黄铁矿含金性的又一明显的矿物特征，也是良好的找矿标志之一。

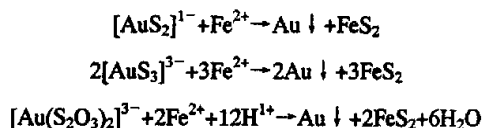
B. Γ.莫伊辛科曾用金粒的归并和崩解来说明上述黄铁矿中的含金性<sup>[22]</sup>。他曾含金为 20—30 克/吨的黄铁矿（在 1200 倍的显微镜下未见金粒）置于电炉中加热到 600℃（温度最大值），时间为 24 分钟，这时黄铁矿转变为磁黄铁矿，并在 600 倍的显微镜下见到金粒。当温度超过 600℃时，金粒发生崩解。宋坤玉也曾进行过类似的实验，结果表明，当含金光片加热至 250~560℃时，原为不可见金者部分可转变为可见金，在 560~720℃时，即有金粒的归并，又有金粒的崩解。上述试验虽可说明金在一定的温度范围内具有活化迁移和聚集的现象，但在复杂的成矿作用过程中，溶液的组分、浓度、矿物的晶体结构特征和比表面、构造活动等也是不可忽视的影响因

素。在一定的物理化学条件下，由于构造活动的频繁，使黄铁矿没有充足的结晶时间，而是常形成半自形至它形颗粒细小的黄铁矿，并具有裂开及破碎现象，导致黄铁矿比表面的增大，使  $\text{Fe}^{2+}$  沉淀 Au 的几率增多。因而黄铁矿的颗粒越细小，越破碎，其中的含金量就越高。

### § 3.4.3 黄铁矿中金的赋存状态

有关金矿床中黄铁矿的含金性，在目前国内外的文献中已有大量的资料报导，至于黄铁矿中金的赋存状态正引起不少学者的重视。由于金具有亲硫、亲铁的特点，故金矿物常与硫化物类矿物共生在一起。

各种硫化物对金的沉淀具有一定的影响。O.E.兹维亚什涅娃曾做了硫化物对金的实验研究<sup>[22]</sup>，结果表明，对金沉淀的大小顺序为黄铁矿—黄铜矿—毒砂—闪锌矿—方铅矿。由此可见，黄铁矿等硫化物对金起着沉淀剂的作用。其沉淀方式为：



金在黄铁矿中的赋存状态问题，目前多数学者认为是以自然金并呈显微包裹体的形式存在于黄铁矿之中。部分研究者认为金呈原子状态填补黄铁矿、磁黄铁矿晶格中铁原子的空位上，或与铁呈类质同象及固溶体的形式存在于黄铁矿中。

众所周知，黄铁矿的晶格特点是呈紧密堆积的，即硫原子成对排列，互相靠近，其中每个硫原子被三个铁原子包围。这与仅一个硫原子被六个铁原子包围组成 NiAs 型晶格的磁黄铁矿相比，黄铁矿晶格中未被充满的空间容积（晶格空隙）小的多，不足以容纳金原子。而且  $\text{Au}^{1+}$  ( $R_i=1.46 \text{ \AA}$ ) 与  $\text{Fe}^{2+}$  ( $R_i=0.74 \text{ \AA}$ ) 的离子半径相差 97.27%， $\text{Au}^{3+}$  ( $R_i=0.85 \text{ \AA}$ ) 与  $\text{Fe}^{3+}$  ( $R_i=0.64 \text{ \AA}$ ) 的离子半径相差 32.81%，这样，彼此之间的类质同象受到极大的限制。虽然  $\text{Au}^{3+}$  与  $\text{Fe}^{2+}$  的离子半径相差 14.86%，但由于  $\text{Au}^{3+}$  的离子电位较高 ( $\pi=3.35$ )，形成络离子的倾向较大，相互之间也不易进行类质同象置换。至于金铁固溶体，由于马鞍桥金矿床成矿温度较低 (210~260℃)，同样也不易形成。其次，在高倍显微镜及电子探针中均未发现金铁固溶体随温度下降而出现有规律的出熔现象。因此，黄铁矿中金主要是排挤在晶格之外的空隙中呈原子状态出现。A. Г. 米罗诺夫曾利用同位素示踪法研究硫化物中金分配时也认为金原子是呈显微包裹体的形式存在于黄铁矿中。H. B. 别洛夫用 X 光结构分析同样也证实了在黄铁矿

的晶格中没有金原子的存在<sup>[22]</sup>。

对马鞍桥金矿床的室内研究结果完全证实了上述结论的正确性,即显微镜下绝大多数的黄铁矿中常常未见自然金,电子探针分析也表明,含金石英脉中不是所有的黄铁矿都含有金。

## § 4 矿床成因初探

### § 4.1 物质来源探讨

关于此类矿床的金来源问题,始终没有得到满意的解决。有认为系地下深部来源的,也有认为是泥盆系地层来源的,还有注意到花岗岩的等等不一而足。由于这一问题难度极大,又有不少人主张不应再对其进行费力不讨好的追根究底。但它在—个地区寻找同类型矿床中,在确定诸如马鞍桥这类矿床进的富集成矿范围中,确实是不可回避的问题。根据周至地区矿床地质状况和大区域构造与各金属矿床的资料分析,有两点是不可忽视的:其一,中秦岭泥盆系是一个金属矿极为富集的地质体,有时甚至只集中于某一组的某一段。如凤—太地区的重要 Cu—Pb—Zn 矿只赋存于中泥盆统古道岭组的第二岩性段之灰岩层中,一旦越过灰岩与千枚岩的界限,矿体也就忽然消失。在本区,至今未见金矿上下超出泥盆系成工业矿床的现象。其二我们还注意到:这些大型、超大型金属矿床(包括可能为大型的马鞍桥金矿床)都分布在岩石圈断裂(商丹断裂)左近或其旁侧的次级地壳断裂旁边。置以事实不能不使人有一强烈的印象:是大型断裂沟通深部成矿流体后上行到泥盆系内形成了层控矿床。大体相当于翟裕生所划分的“生长断层”成矿类型(翟裕生,1997)。金在马鞍桥金矿的集体富集部位则是受本地次一级的因素制约的。

### § 4.2 矿物包裹体的标型特征及成因探讨

矿物包裹体的形态、物态及成份标型特征是成矿溶液热力学条件的综合反映。马鞍桥金矿床中,与金矿化有关的石英包裹体数量较多,但粒度很小且不均匀。包裹体的形态极不规则,具椭圆形、圆形、短柱状、不规则状及透镜状等,也可见成群出现并包裹体形态基本相似的包裹体群(见图版 II-1, 2, 3, 4, 5, 6)。

在显微镜下用测微尺测石英包裹体的长径,大多数包裹体粒度小于  $4 \times 10^{-6} \text{ mm}$ ,少数为  $4 \times 10^{-6} \sim 12 \times 10^{-6} \text{ mm}$ ,且以液相包裹体为主,气液比一般为  $8\% \sim 20\%$ 。其次,具少量全液相包裹体、有机包裹体等。矿物包裹体的上述特征可以为金矿床的成因提供一定的信息,例如典型的岩浆热液型金矿床的石英包裹体较小( $10 \times 10^{-6} \text{ mm} \sim 15 \times 10^{-6} \text{ mm}$ 居多),形态较规则,气液比高( $40\% \sim 70\%$ 居多,  $25\% \sim 30\%$ 较少),具子矿物(反映盐度较高)<sup>[26]</sup>,无纯液相包裹体。变质热液型金矿床的石英包裹体以(气)液相为主,普遍具液态  $\text{CO}_2$ ,气液比多为  $10\% \sim 2\%$ ,包裹体的大小不一( $0. \text{n} \times$

$10^{-6}\text{mm}\sim 30\times 10^{-6}\text{mm}$ ),但以  $0.5\times 10^{-6}\text{mm}\sim 8\times 10^{-6}\text{mm}$  居多,地下热(卤)水溶滤型金矿床的石英包体细小(一般 $<3\times 10^{-6}\text{mm}$ ),形态不规则,气液比低(以3%~5%为主,15%~20%较少),偶见子矿物(反映盐度低,据大气降水特征)<sup>[26]</sup>。马鞍桥金矿床的矿物包裹体特征与地下热(卤)水溶滤型极为相似,表明矿液是以地下水为主体。用均一法测温,由于复杂的变质过程,矿物的形成温度变化较大,在1018中段内,经对9线 $K_2$ 矿体进行石英脉包体测温,均一温度都大于 $300^{\circ}\text{C}$ 。对变质矿物经镜下研究测试,首期黑云母变质温度在 $600^{\circ}\text{C}$ 以上,因此,成矿温度应大于 $350^{\circ}\text{C}$ 。在1285中段88线所采 $K_{19}$ 矿体中石英包体测温,众多均一法数据的频率峰值在 $210^{\circ}\text{C}\sim 250^{\circ}\text{C}$ ;1314中段104线 $K_{19}$ 矿体的包体均一温度峰值在 $240^{\circ}\text{C}\sim 260^{\circ}\text{C}$ (见表4—1)。1270中段因标本分化较强而未能测试,但就其变质程度和矿物组合来看,应和1314中段相似,推断其成矿温度也在 $250^{\circ}\text{C}$ 左右,即1270中段的流体成矿条件相当于1314中段。石英的包裹体盐度 $\omega_{\text{NaCl}}$ 为7.8%~4.5%。石英的包体成分测定结果表明(表4—2),包体中气相成分为 $\text{CO}_2$ 、 $\text{CO}$ 、 $\text{CH}_4$ 、 $\text{H}_2$ 、 $\text{N}_2$ 等,液相成分为 $\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{Na}^+$ 、 $\text{F}^-$ 、等。矿化度为19.89g/l,按总矿化度对水溶液性质划分标准<sup>[26]</sup>( $<1\text{g/l}$ 为淡水,1~3g/l为微咸水,3~10g/l为咸水,10~50g/l为盐水, $>50\text{g/l}$ 为卤水),马鞍桥金矿包裹体水相当于盐水。水溶液中含 $\text{K}^+$ 、 $\text{Na}^+$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{F}^-$ 等离子,阴离子 $\text{SO}_4^{2-}>\text{Cl}^->\text{F}^-$ ;而阳离子 $\text{Ca}^{2+}>\text{Mg}^{2+}>\text{Na}^+>\text{K}^+$ ,以钙离子占优势。所以含矿溶液为 $\text{SO}_4^{2-}-\text{Cl}^--\text{Ca}^{2+}-\text{Mg}^{2+}$ 类型的盐度偏低的热

水。

以上这些特征反映了成矿热液来源的复杂性,即富 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 阳离子,又富 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 阴离子,还原系数又高,综合判断,主要矿化阶段应为深源循环系统。

表 4—1 马鞍桥金矿床石英包裹体均一温度测温表

样号	温 度 ( $^{\circ}\text{C}$ )										
1314	159.5	219.4	246.2	252.4	262.2	249	212	230	231	194.5	240.7
	242.4	248	251	192.9	255.2	229.3	237.5	274.2	128.2	182.4	223.2
1285	228.6	268.4	228.2	164	219	232	284.4	229.6	192.6	247	204.5
	227.6	218	239	238.2	215.6	276.3	255.2	232.6	226.2	247.4	209.2

(注:测试单位:长安大学包裹体实验室)

### § 4.3 成矿机制及矿床成因类型讨论

#### (1) 成矿物质的活化、迁移机理

无论是变质热液系统（变质水）、热水对流系统（底层水）还是热水循环系统（大气降水—海水），都沿岩石中的裂隙系统运移，萃取容矿底层及早期富集体中的金及

表 4—2 马鞍桥金矿床包裹体成份分析表

样号	96-10	Nq-2	平均值	备注
样品类型	石英	石英		
K <sup>+</sup>	0.395	0.594	0.445	
Na <sup>+</sup>	0.55	0.60	0.575	
Cu <sup>2+</sup>	0.85	1.35	1.1	
Mg <sup>2+</sup>	0.39	1.35	0.785	
F <sup>-</sup>	0.575	0.439	0.507	
U <sup>-</sup>	3.59	5.20	4.395	
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	11.5	12.5	12	
CO <sub>2</sub>	3.19	7.47	6.83	
Co	1.754	0.763	1.26	
CH <sub>4</sub>	0.46	0.193	0.33	
H <sub>2</sub>	0.69	0.037	0.37	
N <sub>2</sub>	11	5.00	8	
H <sub>2</sub> O	46	45.9	45.95	
矿化度	17.85	21.934	19.89	
$\frac{U^-}{F^-}$	6.24	11.85	7.52	
$\frac{Co + H_2 + CH_4}{CO_3}$	0.47	0.133	0.30	
$\frac{K^+ Na^+}{Ca^{2+} + Mg^{2+}}$	0.76	0.41	0.585	
盐度	7.8	4.5	6.15	

注：K<sup>+</sup>—H<sub>2</sub>O 单位为 μg/g 样品，矿化度单位为 g/l，盐度为 wt%NaCl

其他成矿组分，F<sup>-</sup>U<sup>-</sup>使之发生活化。金一般是不活泼的元素，仅在适宜的条件下才能转化为 Au<sup>+</sup>和 Au<sup>3+</sup>。目前已认识到 Au 有很强的结合能力，可与多种配位体形成易溶络合物而进入溶液。马鞍桥成矿流体初期为中温、酸性或碱性，富硫中等氧逸度<sup>[31]</sup>，这对金形成硫化络合物非常有利，从而使金可大量活化迁移。在金的多次活化迁移中，主要的只有两次，第一次是区域变质期后，在马鞍桥—双庙子韧性剪切带活动及其他

构造作用下,形成了以  $\text{SO}_4^{2-}-\text{Cl}^{-}-\text{Ca}^{2+}-\text{Mg}^{2+}$  型的变质热液,不断萃取地层的 Au、Ag、Hg、Sb、As、Fe、Bi、S 等元素形成成矿热液;第二次金的活化是在印支期,在岩浆热、区域构造力及地热驱动下,大气降水、地下水或层间水聚集沿断裂带、破碎带循环运移,在运移过程中不断萃取地层中易释放 Au 等成矿元素,在相对开放的条件下,雨水的加入使矿液量增多,迁移循环范围扩大,金的活化量也相应增加。

各期金的活化迁移均与构造活动有关,构造提供了 Au 活化迁移的通道及容矿空间,也提供了除地热梯度之外的压力梯度等动力,因而断裂构造控制了金矿化的分布和矿体。

在成矿溶液中金以  $[\text{Au}_2\text{S}(\text{HS})_2]^{2-}$ 、 $[\text{Au}(\text{HS})^{-}]$ 、 $[\text{AuCl}_4]^{-}$ 、 $[\text{AuCl}_2]^{-}$  形式迁移,其中以前两种占绝对优势。

## (2) 成矿物质的沉淀聚集

### a. 称矿物质沉淀的地理位置

马鞍桥金矿床金的沉淀多在低压扩容带,即一系列低序次级的断裂裂隙构造中,这是本矿床的主要储矿构造,尤其是密集裂隙带,层间薄弱带,层间破碎带,金最易富集。大的断裂带,控制成矿热液运移的基本方向,但由于整个系统十分开放,使金不易集中富集。而在次级裂隙带,破碎带中有较大的物理化学梯度,并处于半封闭状态,有利于金的聚集和多期成矿。另外富有机质岩系的存在,也是金沉淀的一个有利条件。

### b. 成矿物质沉淀的物理化学条件

从前面的讨论可知,热液的温度范围为  $210^{\circ}\text{C}\sim 260^{\circ}\text{C}$ ,金沉淀时的温度约在  $240^{\circ}\text{C}$  左右。随着温度的降低,热液从深处运移到地壳表层,压力逐渐下降,在深度大约  $1\text{km}\sim 2\text{km}$ ,压力为  $20.6\sim 31.7\times 10^6\text{Pa}$  的范围,是金发生沉淀的有利条件。

当发生热液蚀变时,如硅化、绢云母化,热液的 PH 值将发生显著变化。热液中的硅质是重要的 PH 缓冲剂,而绢云母及其分解的粘土矿物等,对热液的 PH 也有缓冲作用,为金的富集提供有力条件。因此,在容矿岩石中,酸性热液或碱性热液运移时,都会发生缓冲由酸性或碱性(有利于金的活化、迁移)向中性及弱酸性、弱碱性条件转化,有利于金的沉淀聚集。

矿床在热液演化的早期和中期,主要形成了硫化物,而无含氧矿石矿物生成,表明热液初期是富硫少氧的。沉淀出硫化物后,热液从还原向弱还原转变过渡的环境中,利于  $[\text{Au}(\text{HS})_2]$ 、 $[\text{Au}_2\text{S}(\text{HS})_2]^{-}$  等含金络合物的分解,并使金还原为自然金而沉淀。晚

期在矿床形成的弱氧化、弱酸性环境，使金活化，进入下部的还原带时，酸性环境，使金活化，进入下部的还原带时，如同硫化物次生富集带一样发生富集作用。

马鞍桥金矿床成矿热液盐度约在 6.15Wt%NaCl 左右，这个数值反映金是在盐度较低的水介质中搬运，这种流体能携带一定数量的硫，这些硫是以便金形成络合物，而硫、氯不足以搬运赋金属，从而造成富 Au 矿石中赋金属含量低，即金与赋金属分离的结果。

在低温、低压 PH 值为弱酸或弱碱、弱还原及氧逸度较低条件下金的沉淀聚集程度最好。

## **§ 4.4 矿床综合成矿模式**

### **§ 4.4.1 衍生矿源层形成**

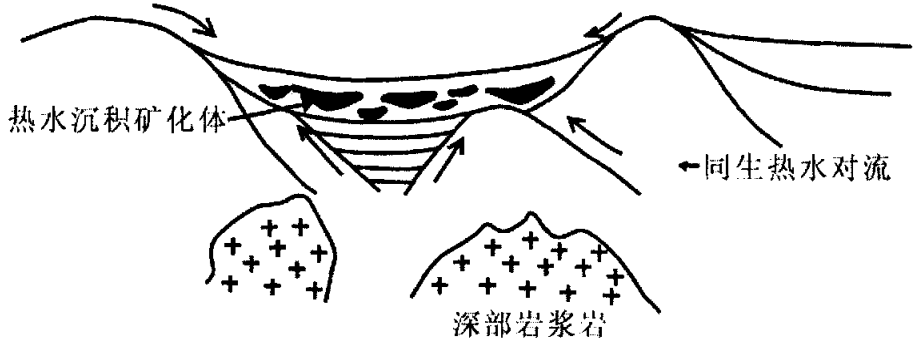
秦岭前泥盆纪漫长的地质发展演化，各个地质作用结合影响，尤其是华北古陆板块侧陆缘活动，为秦岭泥盆纪沉淀和金的初始富集准备了丰富的物质基础，在上古生代时期，中秦岭—坳陷区，在区域性断裂发生活动条件下，沉积了巨厚的中泥盆—中石炭世复理石建造，同时形成了多金属硫化物及金的矿源层。

### **§ 4.4.2 金的活化富集与金矿床定位**

经海西—印支期的构造运动，中秦岭褶皱隆起，巨厚的衍生层发生变形变质作用，形成一系列的大型褶皱和区域性断裂，伴随有长期的岩浆活动。在这种长期而强烈的构造运动背景下，岩浆热液、变质热液及地下水热液异常活跃，从而形成了不同成因的金属矿床，同时也有利于金的富集。在区域性变形变质作用，特别是韧性剪切变质作用驱动下，马鞍桥地区地层封存水、地下水及岩石中含水矿物的碳酸盐矿物的去水脱碳作用释放出大量的  $H_2O$  和  $CO_2$ ，形成以  $H_2O$  为主要成分的变质流体，变质热液在活动过程中不断萃取矿源层中金、硫等物质及构成含金的热液流体，在研究活动主期，岩体是热源，释放的热量可以将断裂下渗的大气水、地下水加热，使之发生循环，萃取矿源层中的金；岩浆的挥发份也对 Au 的活化迁移有直接的作用。这些含金的流体早期多形成粗大石英脉及早期硫化物，金以络合物形式较稳定；随着时间演化，热液的温度下降，压力下降， $fO_2$ PH 值变化，金络合物解离，金主要以独立矿物形式与磁黄铁矿、毒砂、黄铁矿和石英脉沉淀。金矿化主要在石英细脉及蚀变强烈处发育。金成矿模式图见图 4—1：



(1) 衍生矿源层的形成



(2) 多期热液成矿

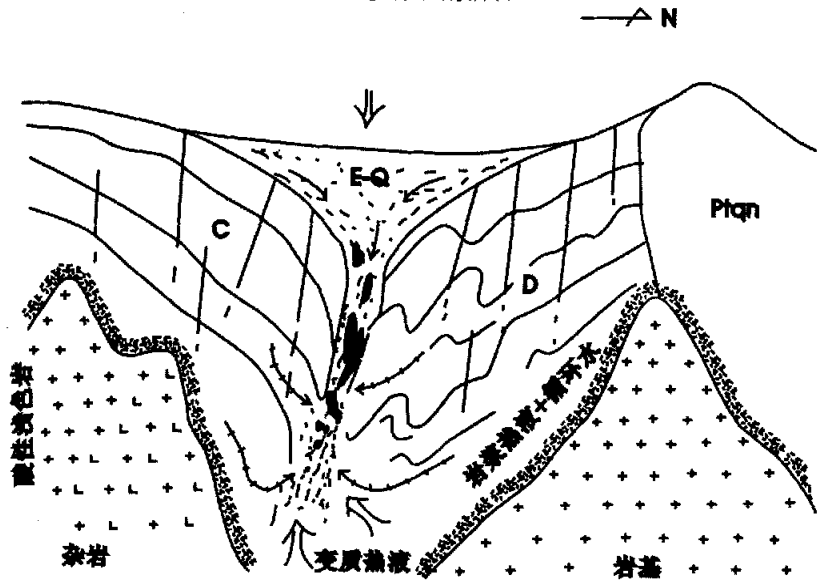


图 4-1 马鞍桥金矿床成矿模式示意图

## § 5 成矿预测

本次研究主要对汪家山进行大比例尺盲矿体预测。汪家山位于马鞍桥金矿床的东端，板房子河的东侧，地形为一向西南倾斜的山梁，大约以  $30^\circ$  左右的倾角向板房子河坡降。该梁长 700 余米，即矿山从山下 108 国道起始向上编号的 1 线至 37 线。梁的上宽 600 余米，下宽不足 300 米。在它的南北两侧是陡峭的山崖，南侧稍缓，平均  $41^\circ$ 。山梁相对高差较大，东西向高差可达 400 余米。

山坡上分化残积及上覆盖土层总厚度都在 3 米以上，原始露头难以见到，探槽开挖甚为困难，尤其要破坏大量植被，因此，已有的 13 线、15 线探槽均未达目的。

矿带与山梁延长方向一致，其南界的炭质岩于山梁沿沟底通过，北界则位于山梁上。已有的地表穿脉巷道标高为 1018, 1071, 1091, 1110 及 1270 米等，其间共有钻孔十多个。目前矿山的开采范围主要集中在 1071 中段以下 1~17 线范围内。

2002~2003 年，在进行“陕西马鞍桥金矿盲矿体预测”项目中，曾对汪家山 29 线（现为 27 线）~37 线进行过地质及物、化探研究，认为该段仍有成矿的显示。本项目就是上次工作的基础上对汪家山地区 17 线以东再进行的成矿研究，以进一步确定其含矿性，为矿山今后的工作部署提供地质依据。

研究自 2004 年 4 月开始，在地质和物化探方面按计划投入了工作，经过数月的野外调研，现已对该区有了比较全面的认识，基本查明了含矿的有利区段，确定了今后矿山工作的目标和方向。在 25 线，经过工程验证，已部分揭露了物探异常体的上部，在今后下降标高后，可望进入矿体。在 CM33 线也对深部含矿情况作了评价。

### § 5.1 成矿地质条件

#### § 5.1.1 地质背景

##### （1）地层的划分

汪家山的地层按陕西省原地质矿产局第八地质队的划分，属上泥盆统桐峪寺组第三岩性段（ $D_3t^3$ ），岩性自下而上由变质粉砂岩、绢云千枚岩向上过渡为绿泥钠长片岩、大理岩，顶部有炭质千枚岩及炭质片岩。它与上覆的中石炭统变质石英砾岩之间为断层接触关系。在地层接触面上常可出现凝灰质砂砾岩。在本次研究范围内，界限则以汪家山沟为界，其北为  $D_3t^3$ ，其南为  $C_2^1$ 。

##### （2）岩性

汪家山出露的岩性与整个马鞍桥矿带大体一致，但有局部变化。

该区地层的原岩为一套由粉砂岩、泥质岩、炭质岩和石灰变质而来的板岩、千枚岩、大理岩类，下部的 1018 中段主要为黑云母石英变质粉砂岩、千枚岩、绢云石英千枚岩和炭质千枚岩、炭质片岩。其中大理岩由西矿段作为底板而至此向矿带中、上部转移。在河西大理岩有两层，至汪家山 1071 中段则分布于矿带近顶部。炭质片岩由于受断层切割和剥蚀作用，地表不清，但据探矿初期资料，炭质沿汪家山沟底分布较连续，现已严重覆盖。

从韧性变形的角度来看，矿带内的岩石又可按构造岩进一步分类，在低标高的一些穿脉巷道可明显看出，自北而南，其岩性沿倾向的变化依次为：变质黑云石英砂岩→糜棱岩化黑云石英砂岩→初糜棱岩→糜棱岩→糜棱片岩[在标高较大的巷道内则出现淡灰绿色黄铁绢云石英超糜棱岩（或千糜岩）→灰绿色绢云黄铁矿绿泥石石英构造微晶片岩（片糜岩）→灰黑色炭质石英千糜岩→黑色炭质石英构造片岩等（图 5—1）。

由海相沉积岩，到区域变质岩，再到糜棱岩，岩石受到不同温压和应力条件下的多次变质及变形。强剪切部位的岩石大体上，自下而上，温度逐渐降低，应力逐渐加强，岩石也由灰紫色黑云母糜棱岩类（1018 中段）依次转化为黑云石英质糜棱岩（1071 中段），再到绢云绿泥构造微晶片岩类（1270 中段）。

### （3）地质构造

汪家山是一条脆韧性的剪切构造带，该剪切带至少经过四次变形，相应的也有序列性的矿物组合，即第一期构造确定了此剪切带（矿带）的位置和形态产状；第二期逆向推覆决定了带内矿段的位置；第三期滑脱引张形成了矿体的分布格式。其中对成矿影响较大的则为二、三两期。至于带内普遍出现的第四期多组脆性断层，乃成矿后所致，对成矿没有多大意义，对矿体的位移破坏距离也较小。

在剪切带内，褶皱构造也常可见到，它们多与第三期正断层式滑脱相伴生，对矿体的分布形式有重要影响，如大崖沟 1314~1340 中段间炭质岩的褶皱加厚。1071 中段坑口大理岩中的顺层叠瓦式褶皱等。他们是矿体斜列的根本原因。

汪家山沟是区内一条较大的脆性逆断层，在 108 国道旁边，它是地层分界及韧性剪切带的南界，但向东北方向，它逐渐插入  $D_3t^3$  之中，即由下而上，由西南而东北，它由位于炭质岩的南侧（1018、1071 中段）插到了炭质岩的北侧，成为灰绿色构造微晶片岩同炭质岩的分界（1270 中段、CM33）该断裂从找矿角度看，意义不甚大，故不予过多研究。

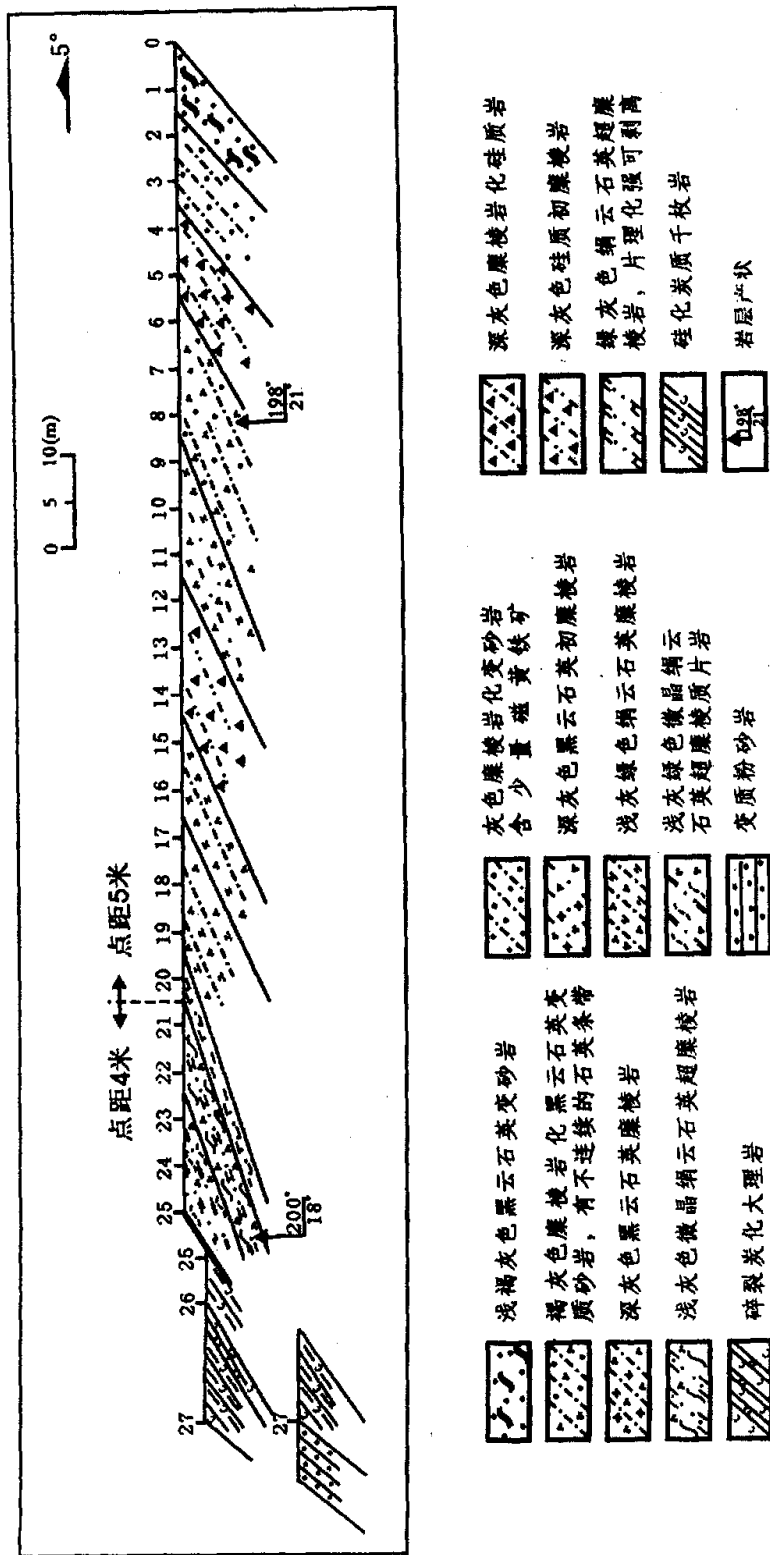


图 5-1 1270 中段 CM33 及周边地层剖面图

#### (4) 岩浆活动

区内最重要的岩浆活动表现为剪切带南侧的香沟岩体。在汪家山,随着矿带向东延伸,距香沟岩体的距离越来越大,其影响也必然有所减弱。但在汪家山沟的东南侧,则有一规模较大的灰白色斑状花岗岩岩墙(脉)以北东向产出,大体与矿带平行。该岩墙(脉)宽度变化于40~80米之间,长可达600米以上。从其岩性上看,与香沟岩体有些类似,可能是香沟岩体的旁侧脉状分枝,属同源同期。如果考虑马鞍桥金矿的形成具有岩浆活动因素的话,此岩脉不可忽视。

#### § 5.1.2 成矿条件对比分析

马鞍桥金矿的成矿条件及控矿因素,归结起来有以下几条:

(1) 马鞍桥矿带位于商丹深大断裂上,此断裂带是沟通深部物源的导矿构造。其南北均有规模巨大的分枝断裂将其包围,本矿带则是断裂带上的—块,曾经受过多期次不同性质不同方向的构造活动;

(2) 马鞍桥金矿带位于秦岭泥盆系成矿带上,矿区为一大面积分布的金异常带,具有较强的成矿物质基础;

(3) 受—条东西向韧性断裂控制,是容矿的有利构造;

(4) 周边有花岗岩活动,为成矿提供了必要的流体及动热源。

上述这些地质条件使得马鞍桥金矿所在的含矿带均具备成矿的可能性。在数十公里的范围内可以在多处形成金矿床,汪家山自然也不例外。

再从马鞍桥金矿床体的控制因素分析,他具备以下条件:

(1) 矿体应富集在产状变缓,走向上右拐的构造部位;1270中段CM33的岩层倾向多为 $180^{\circ} \sim 210^{\circ}$ 左右,走向上呈右拐,而倾角则多介于 $18^{\circ} \sim 30^{\circ}$ 之间,故此该段处于较好的岩层产状部位。

#### (2) 成矿的岩性条件

传统认为,在韧性剪切带中,金矿应出现在剪切最强的部位,但在马鞍桥金矿不尽如此。在许多中段中,成矿可分别出现在靠近大理岩底板和炭质岩顶板两部分,如1071中段2号矿体(底板)和5号矿体(顶板)(图5—2)。其中如2号矿体赋存于初糜棱岩中。

在标高较大的地层中,矿体则往往出现在剪切最强烈的绢云绿泥超糜棱岩、千糜岩或片糜岩中。在CM33中即是如此,其含矿性与1235、1285、1314等相似,即是黄铁矿的集中层位,又是金的富集层位。这说明汪家山CM33也具备成矿的构造岩性

条件。

### (3) 成矿温度

由于复杂的变质过程，矿物的形成温度变化范围也较大。本次工作共磨制 3 个包裹体片，其中，在 1018 中段内，经对 9 线  $K_2$  矿体进行石英脉包体测温，均一温度都大于  $300^{\circ}\text{C}$ ；对变质矿物经镜下研究测试，首期黑云母变质温度在  $600^{\circ}\text{C}$  以上。因此，成矿温度应大于  $350^{\circ}\text{C}$ ；

在 1285 中段 88 线所采  $K_{19}$  矿体中石英包体测温，众多均一法数据的频率峰值在  $210^{\circ}\text{C}\sim 250^{\circ}\text{C}$ ；1314 中段 104 线  $K_{19}$  矿体的包体均一温度峰值在  $240^{\circ}\text{C}\sim 260^{\circ}\text{C}$ 。1270 中段因标本分化较强而未能测试，但就其变质程度和矿物组合来看，应和 1314 中段相似，推断其成矿温度也在  $250^{\circ}\text{C}$  左右，即 1270 中段的流体成矿条件相当于 1314 中段。

(4) 从物探和化探资料看，自 25 线至 37 线，异常在矿带走向上呈尖灭左现，与整个矿带中矿体右行左列的格局相一致，说明汪家山也有同样的隐性成矿构造（图 5—3）。

(5) 4 条沿脉物探显示，异常集中在 25 线以东，该地段与中西矿段的近等距性分布相吻合，应是成矿有利区段。

鉴于以上分析，在 25 线以东可作为汪家山 17~37 线的找矿重点地段。

## § 5.2 地球化学探矿

本次工作范围为马鞍桥矿带的东部汪家山区，即 17—37 勘探线内。此处大部分为较厚的覆盖层，02 年曾在本区原有的探槽即 29、31、33、35、37 线 5 条探槽采过一批化探样，由于受地形及覆盖的限制，探槽没有穿透整个矿带，而是偏南的一部分，在此范围内圈出了异常。矿山在物化探异常最强的 29 线处掘出了一条 100 多米长的沿脉坑道，并在 33 线打了 130 多米的穿脉坑道。在此基础上本次化探在 33 线北穿采了 25 个化探样，由于南穿塌方，没有采样。另外在小路上转弯的岩石露头处采了两个参考样。

### § 5.2.1 区域化探概况

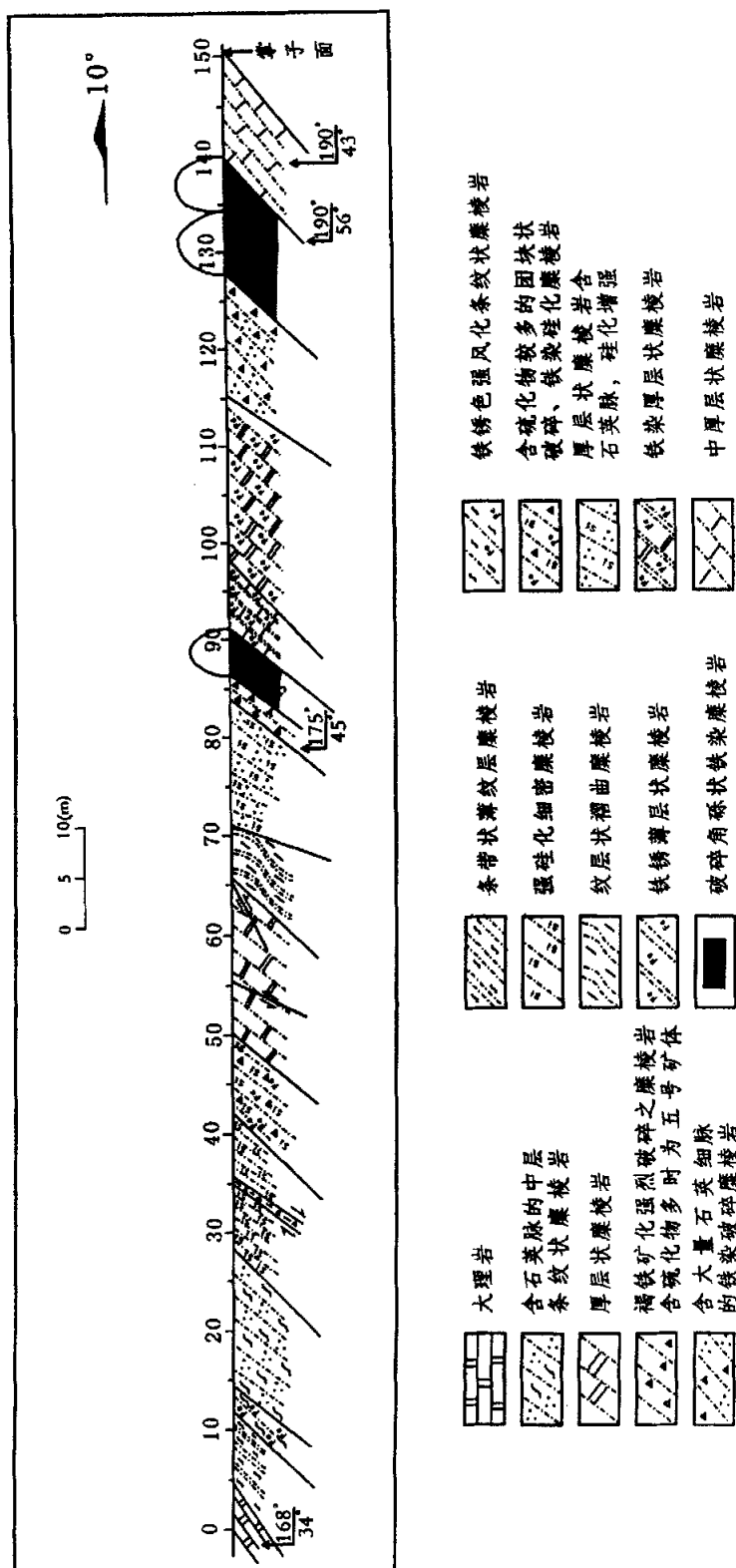


图 5-2 1071 中段 7 线地质剖面图

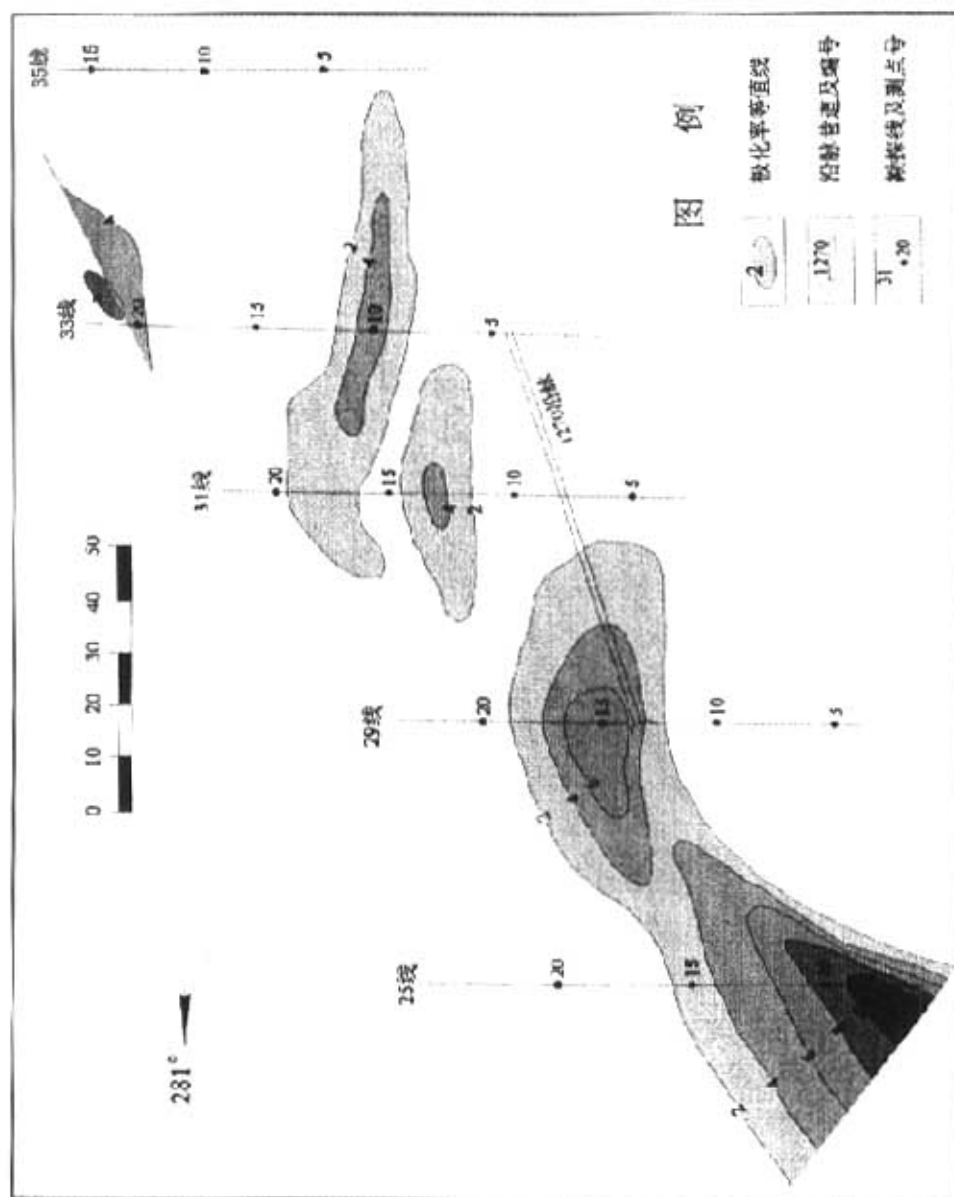


图 5-3 汪家山 25 线~35 线磁电异常平面图



根据 1990 年陕西省地质八队填制的 1/10 万“陕西周至—户县地区地质图”。可以看出,在马鞍桥周边地区,金及多金属异常呈罗棋布,其总体可归纳为南北两个带。北带主要分布于沙梁子至双庙子断裂两侧,向南可沿至以中石炭为核心的向斜轴部。该带在构造上也是一个良好的成矿部位,具体范围是,西起后畛子乡的老庄子,向东经过梨子坪、沙梁子、马鞍桥、清水河、安家歧、虎豹河、小王涧乡、南沟、熊掌沟、光头山、大涝沟,再向东直至户县境内。南带异常则西起板房子乡南边的冯家坪,向东可到宁陕县的菜子坪,位于一组北倾的断裂带内。南带的规模、强度稍弱于北带。

如此大范围异常预示着该区具备成矿的巨大潜力。

马鞍桥矿带即位于北带最大的一个异常 DHS31 范围内,此异常包括了西起老庄子,北到北坡、狐狸沟,东到清水河以东,南至元潭子、北面子的巨大范围,异常面积约 96 平方公里。此范围内还包括了 Cu—Pb—Zn—Ag 及 Cu—Zn—Co—Ni 两个多金属异常。总之,这个异常所处的位置无论从构造、地层、岩体,还是物质条件来看都应是一个大型矿床,因而无论沿走向还是沿倾向都会有较大的延伸。

在 1/5 万的化探异常分布图上,把 DHS31 这个最大的化探异常细化、分解为一个西部收敛封闭、向东撒开的马蹄形异常,它的南翼西起大黑沟,向东经过正南沟、头道沟、马鞍桥到汪家山,这就是马鞍桥金矿带的位置。所以马鞍桥金矿在现有开采矿区的基础上向东、向西开拓都是有地球化学依据的,汪家山自然不会成为工业矿体向东截至的边界。

### § 5.2.2 本次工作的内容

#### 1. 分析结果的检验

按照规定本次送了 3 个密检样,现对其进行相对误差的检验,以检查化验数据的精度及可靠性。

据  $RE$  (相对误差)  $= (X1 - X2) \div [(X1 + X2) \div 2] \times 100\%$  的计算公式

其中:  $X1$ : 原编号样品

$X2$ : 密检样

依据规范要求相对误差  $RE \leq 50\%$  为优秀、 $RE \leq 55\%$  为良好

本次参与相对误差计算的数据有  $18 \times 3 = 54$  对,计算结果有 7 对大于 50%,其中有一组  $RE < 55\%$  (表 5—1), 91% 的分析值 达到规范要求,即符合要求。因此,可以将本次化验结果用于地球化学分析。

#### 2. 本区多元素地球化学特征值对比

用汪家山地区地表探槽的多元素地球化学特征值与此次特征值统计结果对比,可

以看出以下几个特点：见表 5—2

1) Au、As、Sb 三元素的几何平均值与算数平均值比汪家山地表探槽有大幅度的增加，其中 As、Sb 为近矿的头晕指示元素。Hg 值有所降低，而 Hg 为远程的头晕指示元素。Ag、Cu、Pb、Zn 这些近矿元素的值也都有不同程度的增加，而尾晕元素 Bi、Mo 的值有所降低。以上这些都充分说明了，33 线穿脉已经离开上一个矿体的尾部，正在接近下面另一个新矿体；

2) 对比它们的富集系数，Au 增加了近 7 倍，Sb 增加了近 10 倍，其它 As、Pb、Cu、Zn、Ag 等多种元素、都有不同程度的增加。这一特点也同样说明本次采样位置更接近矿体。

3) 变异系数等于标准离差与算术平均值的比值，即  $V=S_{N-1}/X$ ，它是用来表征一组数据的相对离散程度的，而标准离差只与样品分析值同其算术平均值之差的大小有关，它不能反映各样品的分析值的大小，它只是反映一组数据绝对离差程度。Au、As 在算术平均值、标准离差都大幅度增加的情况下，变异系数却有所下降，这一方面反映 Au、As 等元素整体含量增加，另一方面又反映它们相对离散程度减小，这也是 33 线穿脉接近矿体的表现。

4、铁族元素的算术平均值、标准离差都有较大的增加，但变异系数并无多大变化，它们的变异系数最大 45%，大部分在 20% 左右，基本属于均匀变化，说明铁族元素基本不参与 Au 的成矿活动。

### 3. 33 线穿脉指示元素分析

33 线穿脉有 20 多米塌方无法采样，仅在北穿采样，采样是从北掌子面开始的，零号样在掌子面上，0—5 米之间连续捡块混合为 1 个样，每 5 米一个样，依次后推，最后 3 个样为每个样 4 米，北穿脉 117 米长共采 25 个样。下面针对各元素的异常曲线图，对比分析其含矿性。

从图 5—4 中可以看出，Au、Ag 的相关性较好，都是在 80 米，即 16 号点开始突升至峰值，并保持一定的异常。Pb 与 Au、Ag 异常曲线相似。Cu、Zn 都在 95 米前有较好的异常。将其与 33 线地表探槽相比，以上 5 元素异常强度及范围都明显增加。头晕元素 As、Sb、Hg 的异常曲线也都在 80 米前后处抬升（图 5—5），并与尾晕元素 Mo、W、Bi 在此处叠加（图 5—6）。以上这些特征的组合，预示着从 80 米前后到沿脉处的一段穿脉的下方有矿体存在。铁族元素没有明显的规律性（图 5—7），成矿的指示意义自然也不明显。

表 5—1 相对误差计算表

元素		Cu	Pb	Mn	Cr	Ni	Mo	Sn	V	Ag
原编号	WC33-7	43.4	25.4	1152	67.4	36.1	0.64	1.6	132.1	0.14
密检号	MJ-1	41.5	31.9	1311	50.2	27.2	0.62	1.6	82	0.1
相对误差 (%)		4.48	22.69	12.91	29.25	28.12	3.17	0.00	46.80	33.33
原编号	WC33-19	12.3	22.3	870	123.2	50.9	0.63	2.7	108.9	0.17
密检号	MJ-2	25.2	15.7	846	90.7	29.2	0.56	2.5	105.6	0.38
相对误差 (%)		68.8	34.74	2.80	30.39	54.18	11.76	7.69	3.08	76.36
原编号	WC33-24	18.1	15.3	13.9	105.8	35	0.76	3.1	115.8	0.23
密检号	MJ-3	19.6	16	1270	98.7	38.6	0.72	3.3	113.5	0.2
相对误差 (%)		7.69	4.47	3.02	6.94	9.78	5.41	6.25	2.01	13.95
元素		Ti	Zn	Co	W	As	Sb	Bi	Hg	Au
原编号	WC33-7	3504	93	29.8	2.6	16.3	1.52	0.21	0.01	57.9
密检号	MJ-1	3088	96	27.7	2.2	55.3	2.01	0.27	0.022	38.5
相对误差 (%)		12.62	3.17	7.30	16.69	108.9	27.76	25.0	75.00	40.25
原编号	WC33-19	3758	52	41.8	16.2	186	30.1	0.39	0.015	458
密检号	MJ-2	3402	44	35.2	9.8	496	82.7	0.31	0.031	588
相对误差 (%)		9.94	16.67	17.14	49.23	90.91	93.26	22.86	69.57	24.86
原编号	WC33-24	3505	44	31.8	9.7	596	45.3	0.27	0.024	197.5
密检号	MJ-3	3180	46	34	9.8	586	41.2	0.25	0.018	201.2
相对误差 (%)		9.72	4.44	6.69	1.03	1.69	9.48	7.69	28.57	1.86

#### 4. 33 线剖面原生晕

1270 中段的沿脉巷道开口位置为 29 线探槽的第 13—14 号点之间, 以 87 度方向向东水平延至 33 线。将 33 线探槽及 1270 中段沿脉都投影到平面图上, 可看到 1270 沿脉掌子面与 33 线探槽的 3 号点相交, 33 线穿脉采样编号是从北向南, 此交点处为 24 号点。33 线探槽的高程数据可根据西安景源数码信息工程有限公司提供的 1/2000 的汪家山地形图查找。由于图上没有标出 33 线探槽位置, 参照 2002 年矿山提供的汪家山地区 29—37 线的平面图, 地形图上 31 线探槽位置应为 33 线探槽, 据此可知 33 线探槽高程应为 1369 米。

另外, 31 线探槽距 33 线探槽仅有 40 米, 在地形上又下落了 29 米, 所以将其平

表 5—2 汪家山 33 线穿脉多元素地球化学特征值一览表

N=27

	Cu	Pb	Mn	Cr	Ni	Mo	Sn	V	Ag	Ti	Zn	Co	W	As	Sb	Bi	Hg	Au
几何均值	46.51	24.7	1251.8	78.2	36.2	0.61	2.6	112.8	0.19	3465.4	85.7	32	4.05	61.57	5.74	0.25	0.015682	89.51
算术均值	56.24	26.5	1306.9	85.2	38.6	0.63	2.8	116.5	0.25	3494.9	91.1	32.6	5.07	125	19.3	0.28	0.016556	223.6
最大值	111.8	75.3	2396	213	108	1.11	5.2	191.7	1.38	4418	148	47.9	16.2	595.9	129	0.64	0.031	1192
最小值	12.3	14.9	870	42.6	19.1	0.4	1.3	75.2	0.08	2563	34	24.9	1.6	7.54	1.07	0.1	0.01	3.4
中值	39.9	23.7	1179	85.6	35	0.62	2.5	115.5	0.15	3465	95	30.1	3.7	47.5	3.91	0.27	0.014	87
方差	1041	141	173001	1396	268	0.02	1.1	883	0.07	181734	838	38.9	14.3	28521	1094	0.01	0.000034	83753
标准偏差	32.88	12.1	423.86	38.1	16.7	0.16	1.1	30.28	0.26	434.42	29.5	6.36	3.85	172.1	33.7	0.11	0.005905	294.9
变异系数	0.585	0.46	0.3243	0.45	0.43	0.26	0.4	0.26	1.06	0.1244	0.32	0.2	0.76	1.377	1.75	0.42	0.356692	1.319
富集系数	1.022	2.12	1.3756	0.85	0.51	0.42	1.4	0.863	3.52	0.6126	1.3	1.3	3.38	69.46	96.3	1.63	0.206944	55.91
地壳均值	55	12.5	950	100	75	1.5	2	135	0.07	5700	70	25	1.5	1.8	0.2	0.17	0.08	4

表 5—3 汪家山地表探槽多元素地球化学特征值一览表

N=43

	Cu	Pb	Mn	Cr	Ni	Mo	Sn	V	Ag	Ti	Zn	Co	W	As	Sb	Bi	Hg	Au
几何均值	12.2	13.7	767.6	57.5	18.5	0.63	2.1	61.3	0.09	2484.7	62.2	11	3.1	13.4	1.3	0.31	0.02543	17.3
算术均值	17.5	16.4	802.42	61.5	19.8	1.75	2.2	66.7	0.11	2585	73	11.8	3.2	26.7	2	0.34	0.02665	32.9
最大值	62.8	63.8	1348	115	40.1	39.1	5.1	134.6	0.51	4411	476	21.4	9	383.6	15.9	0.94	0.044	331.1
最小值	3.1	6.3	374	24	6.8	0.19	1	25.2	0.03	1150	29	4.2	2	2.2	0.5	0.17	0.012	3.7
方差	213.8	153	57399	492	52.1	35.3	0.5	768.6	0.01	475132	4437	19	1.5	3329	7.6	0.02	0.00006	2960
标准偏差	14.6	12.4	239.58	22.2	7.2	5.94	0.7	27.7	0.11	689.3	66.6	4.4	1.2	57.7	2.8	0.16	0.00794	54.4
变异系数	0.8	0.8	0.3	0.4	0.4	3.38	0.3	0.4	0.95	0.27	0.9	0.4	0.4	2.2	1.4	0.46	0.29786	1.7
富集系数	0.3	1.3	0.84	0.6	0.3	1.17	1.1	0.5	1.62	0.45	1	0.5	2.1	14.8	9.9	1.97	0.33314	8.2
地壳均值	55	12.5	950	100	75	1.5	2	135	0.07	5700	70	25	1.5	1.8	0.2	0.17	0.08	4

移投影到 33 线剖面上，以此形成了 33 线剖面图（图 5—8）。

现根据该剖面多元素原生晕分析下部的含矿性。

首先看 Au（图 5—9），在 33 线探槽中有较弱异常，下降 29 米后，没有看到异常出现，到 1270 中段，异常范围增大，强度较强。从 16 点到 24 点的大范围内，有两处较强异常。从整个分布形态上看，也显示上一个矿体已完全剥蚀，下一个矿体已临近露头。

Ag 的原生晕分布从上到下连续增强（图 5—10），到 33 线穿脉即 1270 米高程上，出现和 Au 相似的异常分布，显示了向下增强的趋势。

头晕元素 As 和 Sb（图 5—11、12），具有相似的分布形态，都是从上到下连续的增强。Hg 从上到下在 1340 处的分布范围和强度达到最大，到 33 线穿脉处减到最小（图 5—13），这也正说明了 CM33 已接近矿体。

尾晕元素 Bi、Mo（图 5—14、15）的共同特点是原生晕到了 33 线穿脉虽然还有较大的分布范围，但其强度都减至最小，Bi 的最强原生晕分布在 1340 高程上，Mo 则是从上到下依次减弱。这种分布表明了上一个矿体的尾晕到 33 线穿脉即到 1270 高程已经结束。

综上所述，各元素均指示 33 线穿脉已接近矿体。

#### 5. 用分带性指数模型计算 33 线相对高程

由于汪家山和中矿段即 64 线建模处同属一个矿带，它们具有相同的成矿成岩性，即绢云石英千枚岩和构造地球化学特征，同属此矿带的中上部，因此，可以用 33 线穿脉的分带性指数计算它们相当于 64 线建模处矿体的相对高程。

在表 5—4 中计算了三处分带性指数。表 5—5 中给出了模型中的 8 个回归方程并计算了它们相对于建模处的矿体高程。可以看出 33 线穿脉相当 64 线的 1335 米的位置，也就是说，CM33 向下 50 米即是相当于 64 线 1285 米的矿体位置，或者说，现在的 33 线穿脉向下 50 米是本剖面上最好的含矿部位之一。

表 5—4 分带性指数表

	Au	Ag	Cu	Pb	Zn	As	Sb	Bi	Mo
33 线	0.028	0.608	1.428	0.793	2.729	0.211	0.197	0.832	1.988
路 1	5.093	0.343	1.607	0.497	1.898	0.075	0.062	0.522	0.981
路 2	3.819	0.309	2.254	0.669	2.631	0.056	0.049	0.410	1.424

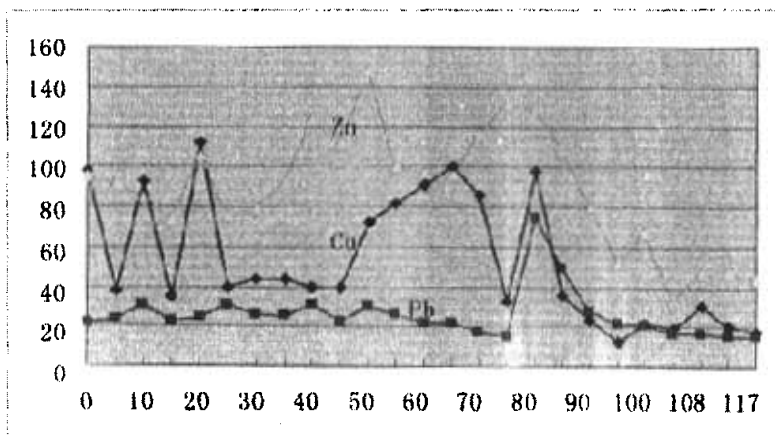
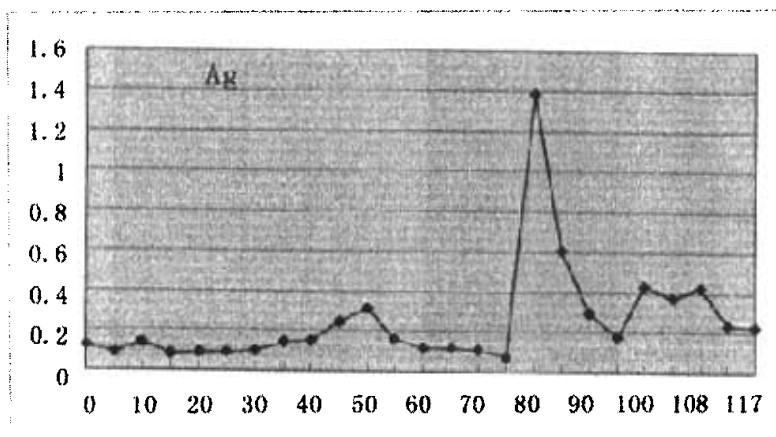
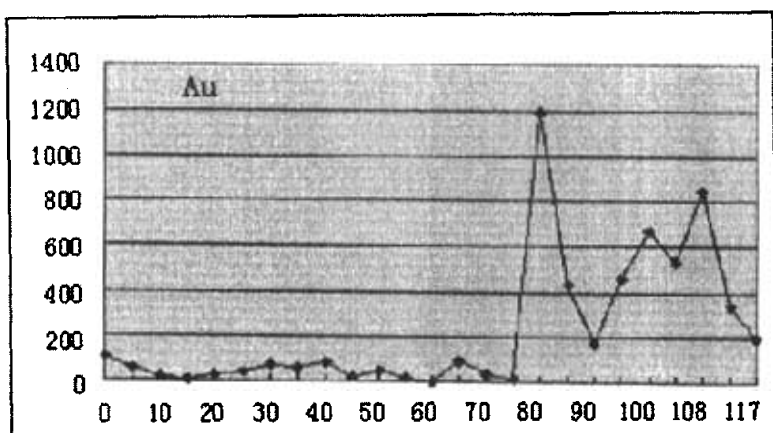


图 5—4 汪家山 33 线多元素化探异常曲线图

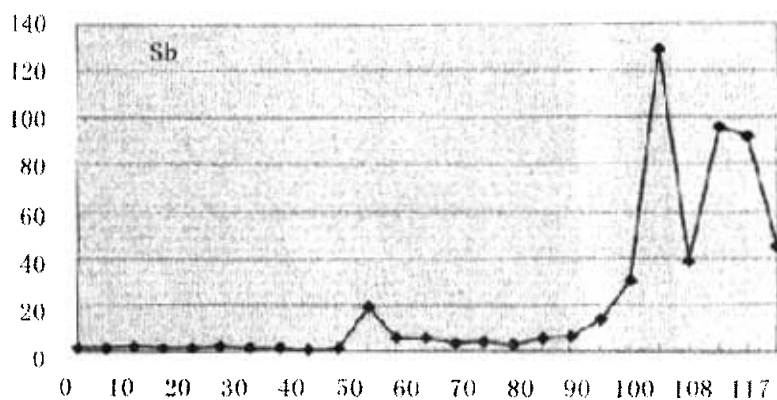
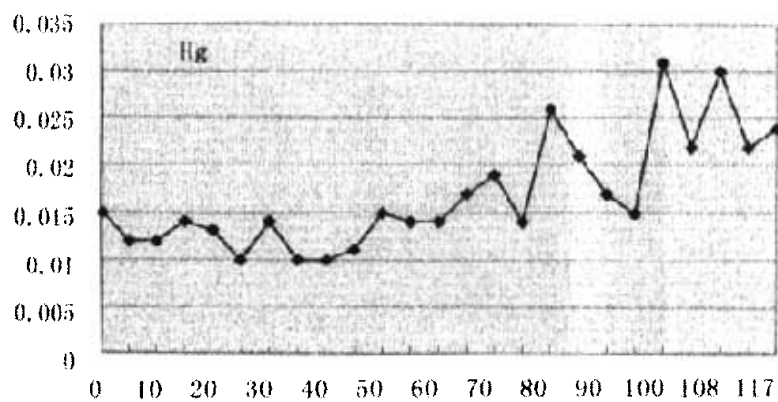
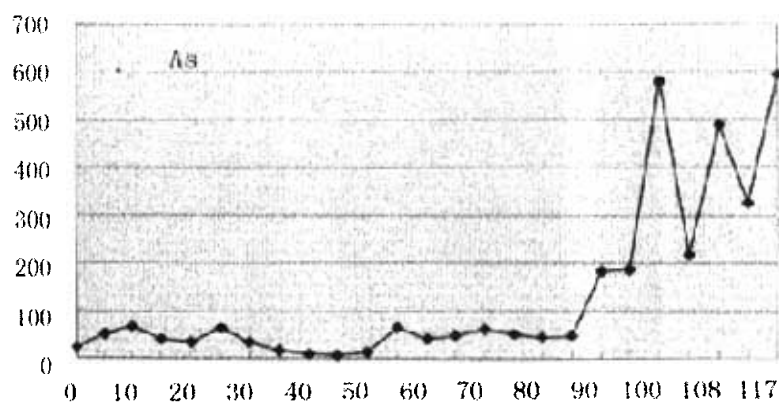


图 5—5 头晕元素 As、Hg、Sb 异常曲线图

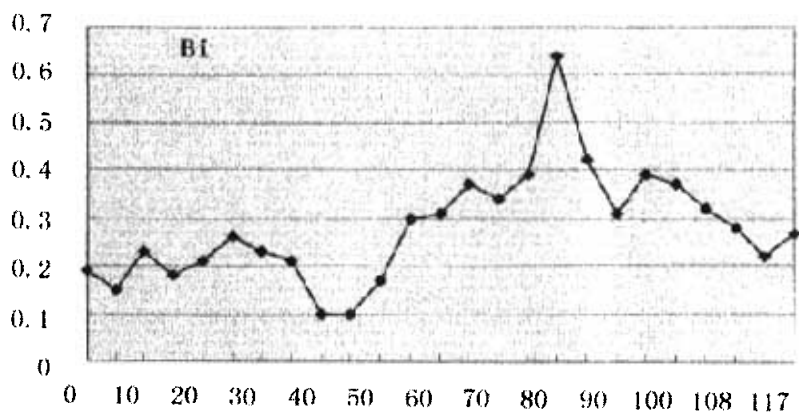
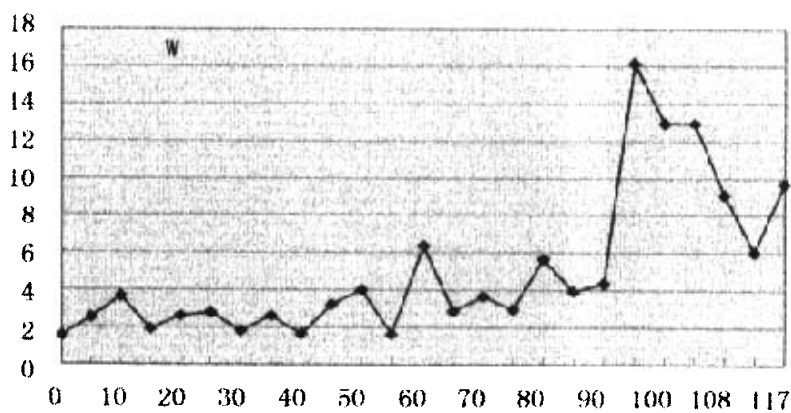
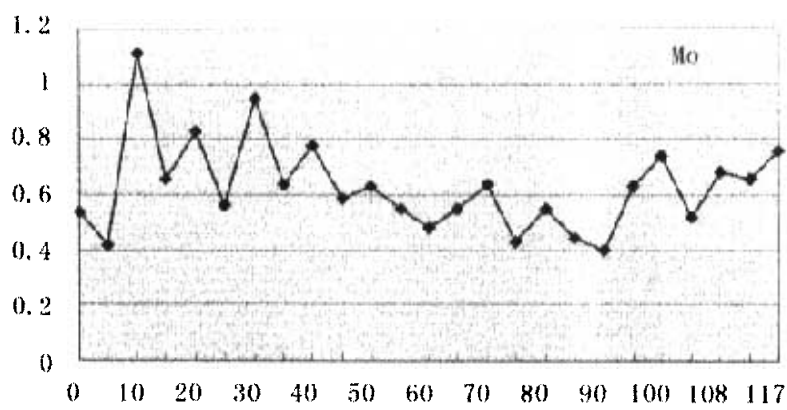
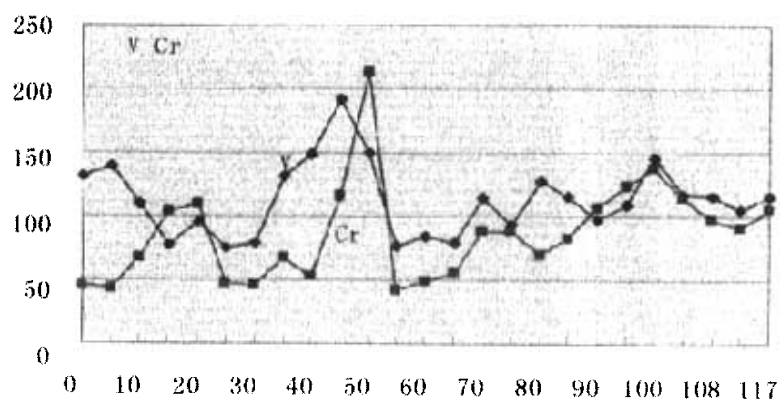
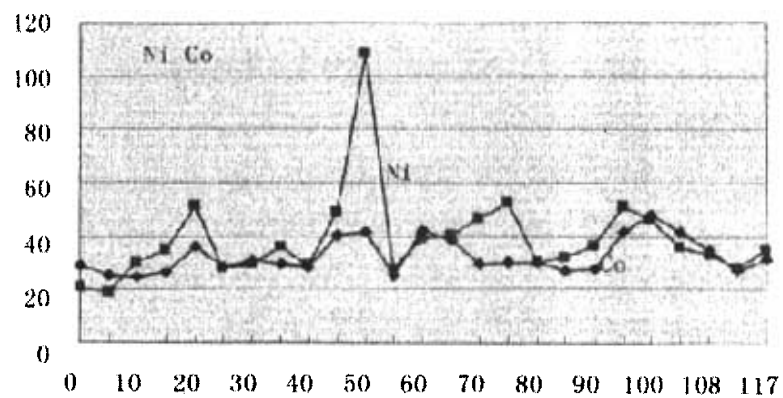
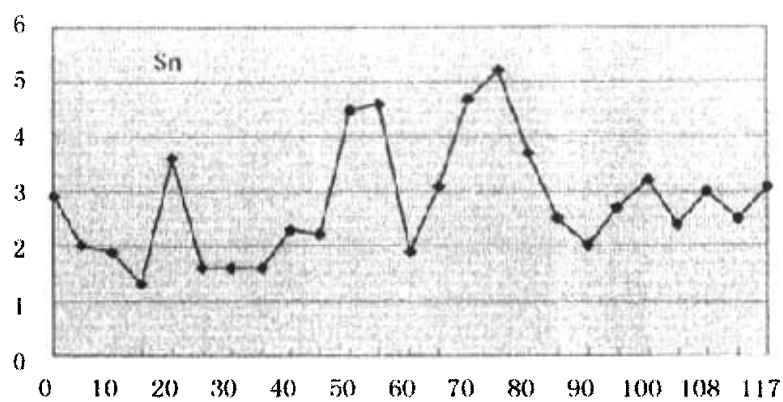


图 5—6 尾晕元素 Mo、W、Bi 异常曲线图





(接下页图)

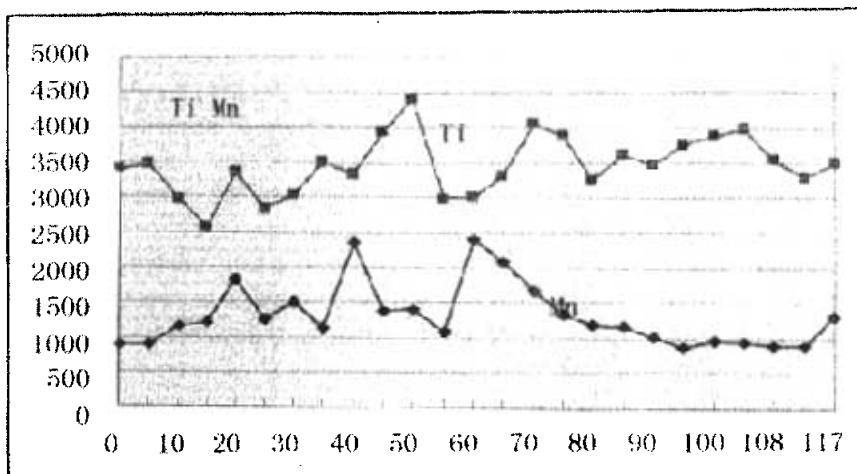


图 5—7 铁族元素 Sn、Co、Ni、V、Cr、Ti、Mn 异常曲线图

表 5—5 模型相当矿体高程计算表（米）

计算公式（回归方程）及回归系数									
Cu/Bi	349+90LogV	r=0.978	$\frac{Pb}{Bi}$	1415+294LogV	r=0.977				
As/Bi	1352+111LogV	r=0.9561	$\frac{As * Pb}{Bi * Bi}$	1369+81LogV <sub>2</sub>	r=0.963				
$\frac{Cu * Pb}{Bi * Mo}$	1357+51LogV <sub>2</sub>	r=0.982	$\frac{Cu * As}{Bi * Mo}$	1313+22LogV <sub>2</sub>	r=0.955				
$\frac{Cu * Sb}{Bi * Mo}$	1343+31LogV <sub>2</sub>	r=0.954	$\frac{Cu * Pb * As}{Bi * Bi * Mo}$	1356+36LogV <sub>3</sub>	r=0.979				
各处计算结果及平均值（米）									
	$\frac{Cu}{Bi}$	$\frac{As}{Bi}$	$\frac{Pb}{Bi}$	$\frac{As * Pb}{Bi * Bi}$	$\frac{Cu * Pb}{Bi * Mo}$	$\frac{Cu * As}{Bi * Mo}$	$\frac{Cu * Sb}{Bi * Mo}$	$\frac{Cu * Pb * As}{Bi * Bi * Mo}$	平均值
33 线	1370	1286	1409	1318	1349	1297	1319	1329	1335
路 1	1393	1285	1409	1299	1367	1299	1321	1333	1335
路 2	1416	1256	1477	1316	1378	1298	1321	1340	1350

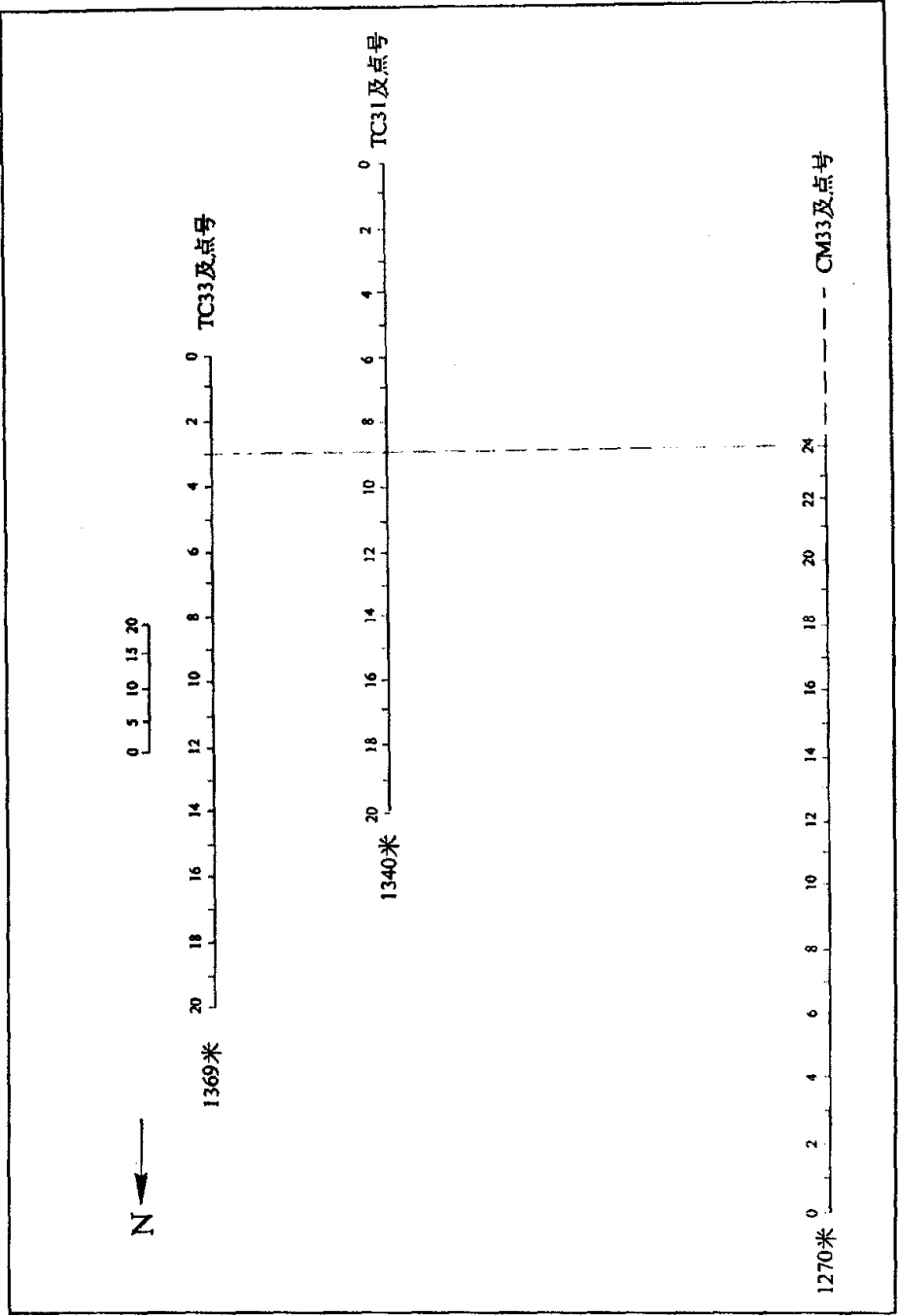


图 5—8 33 线剖面图

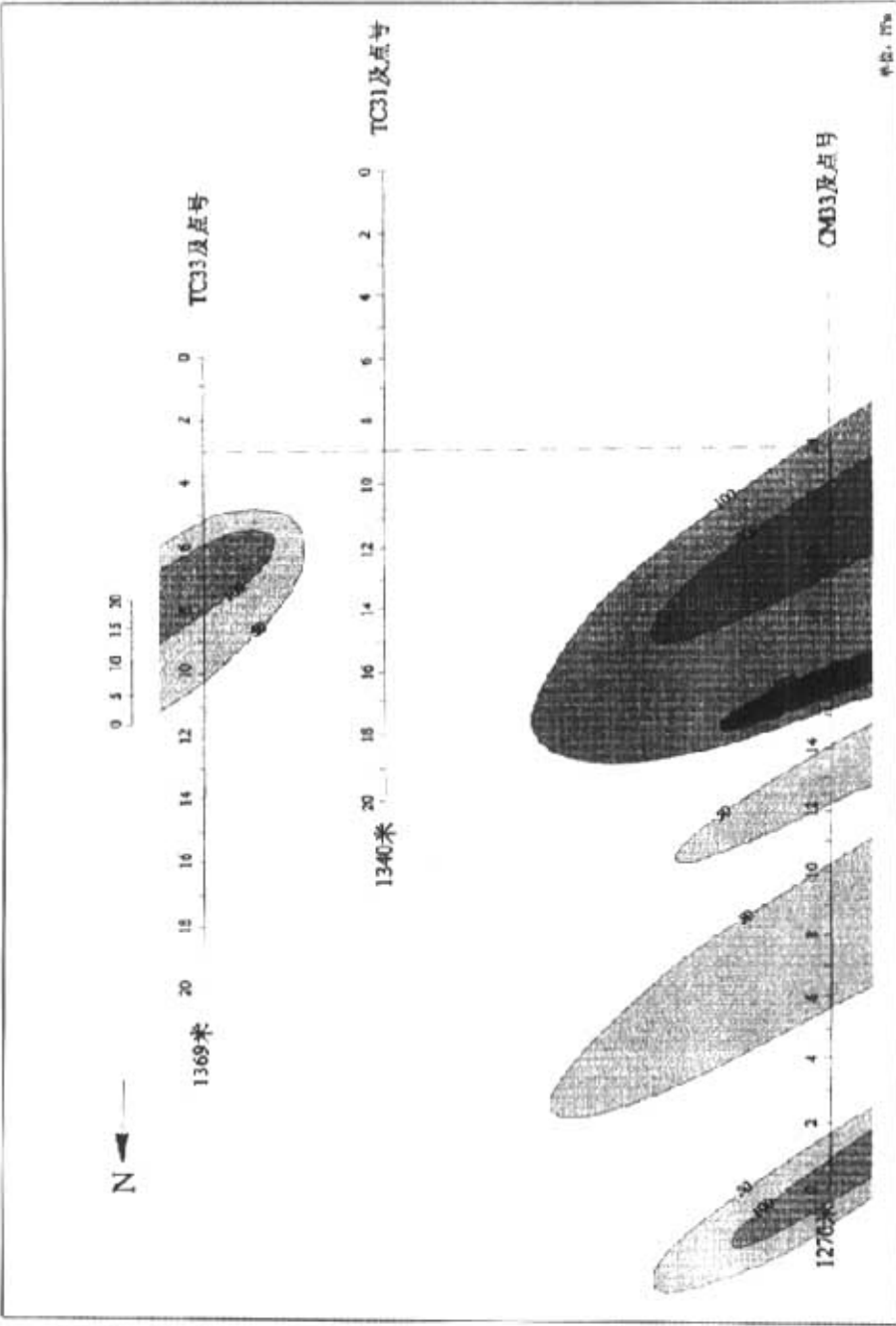


图 5—9 33 线剖面 Au 原生晕分布图

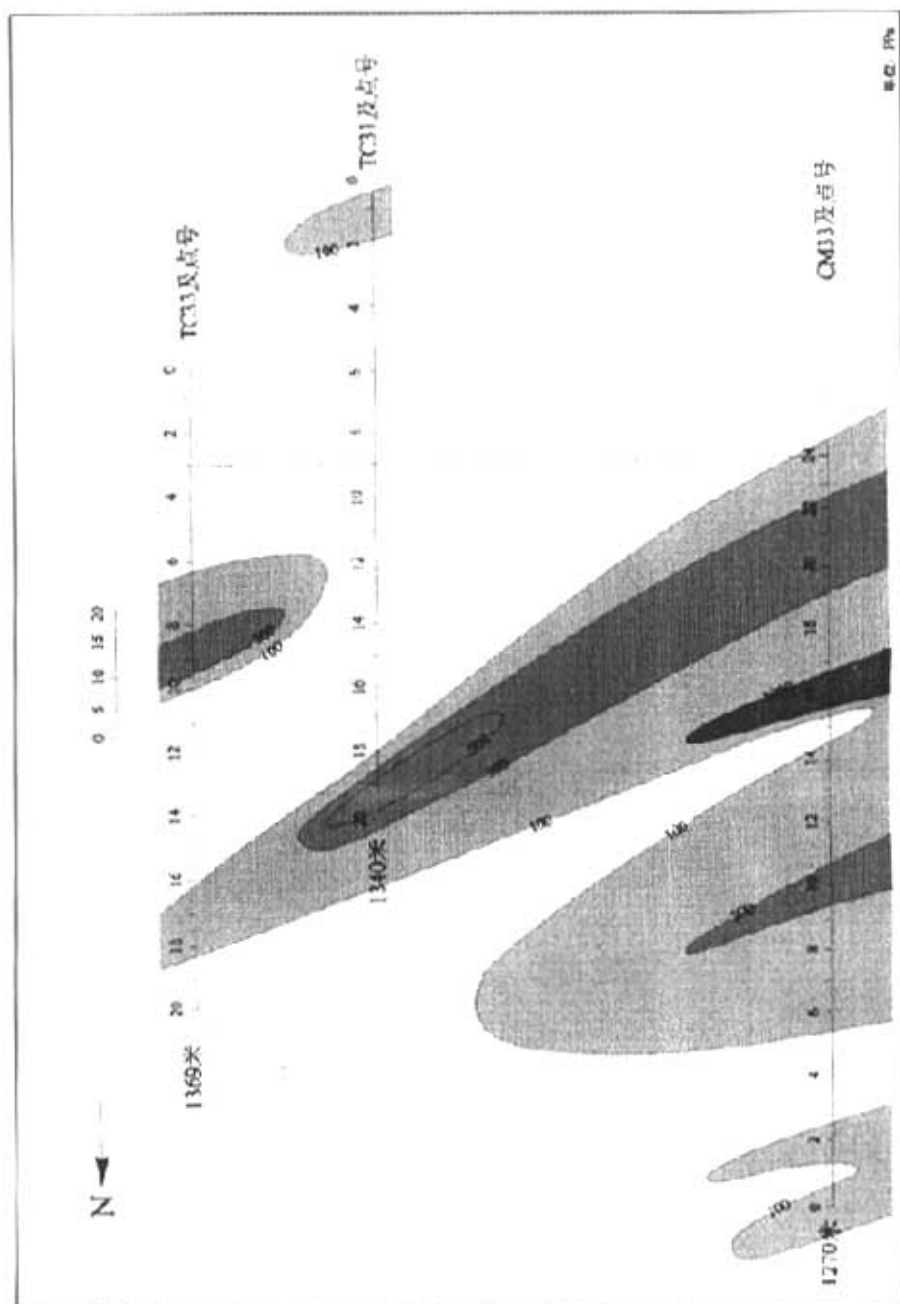


图 5—10 33 线剖面 Ag 原生晕分布图

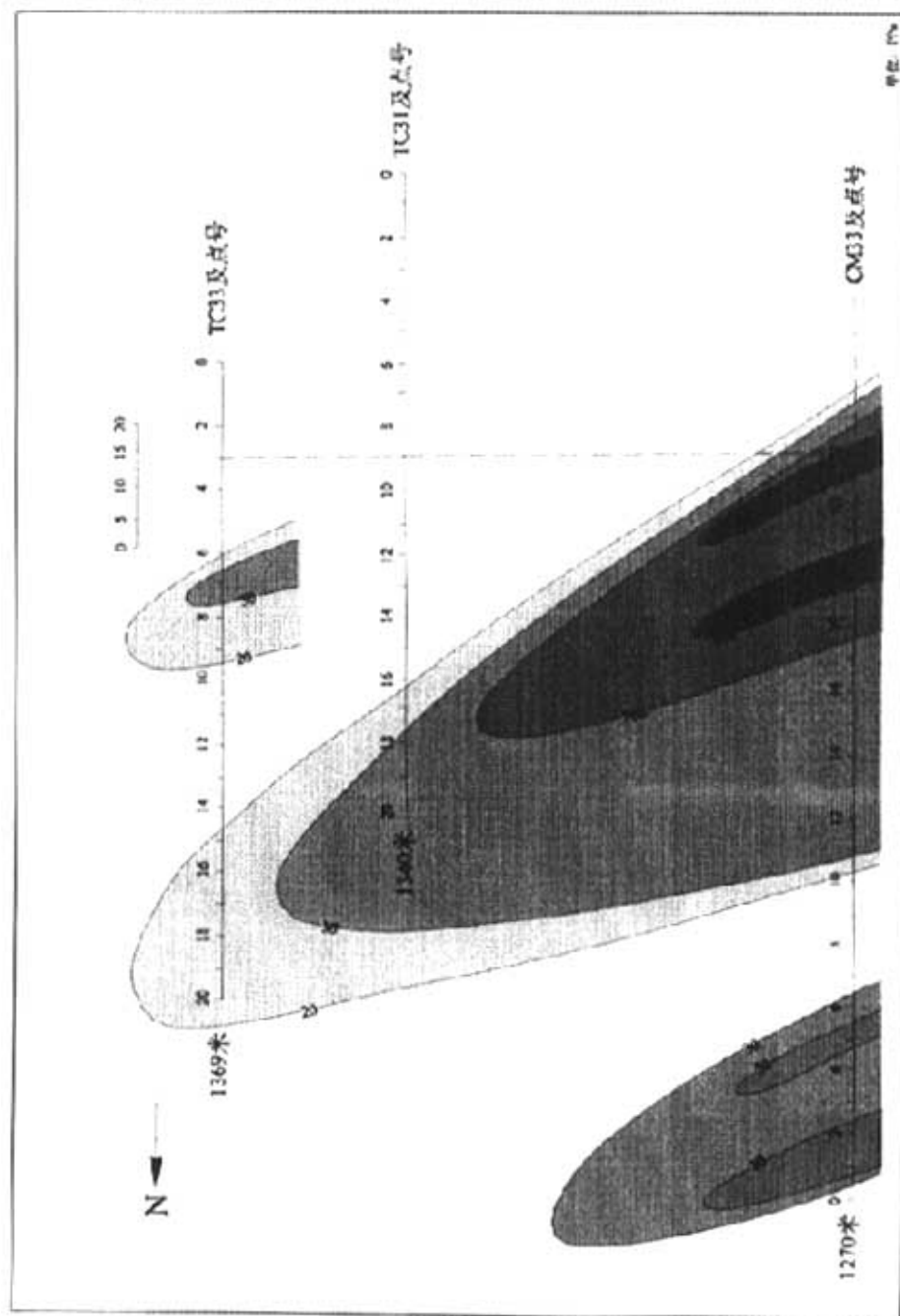


图 5—11 33 线剖面 As 原生晕分布图

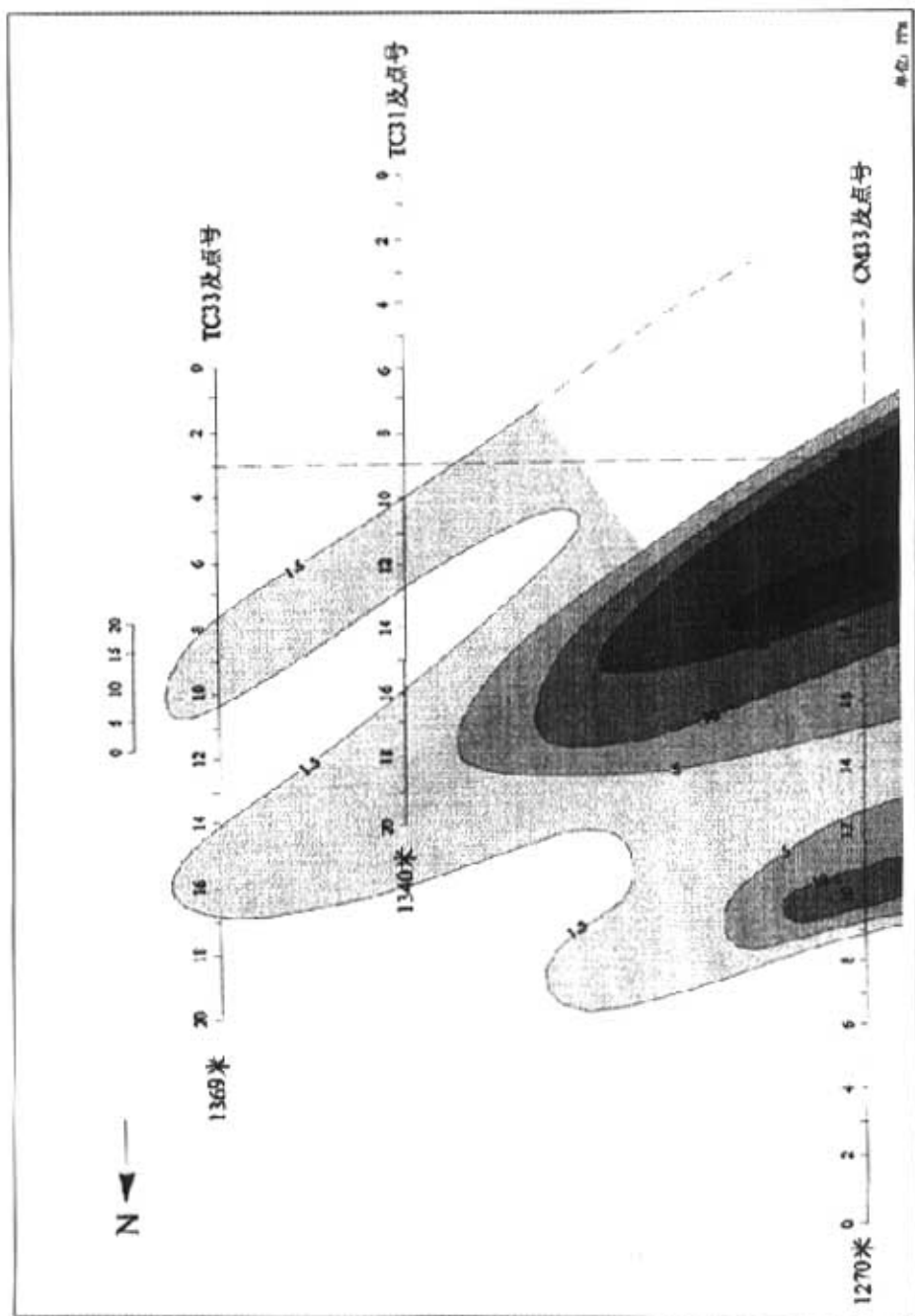


图 5—12 33 线剖面 Sb 原生晕分布图

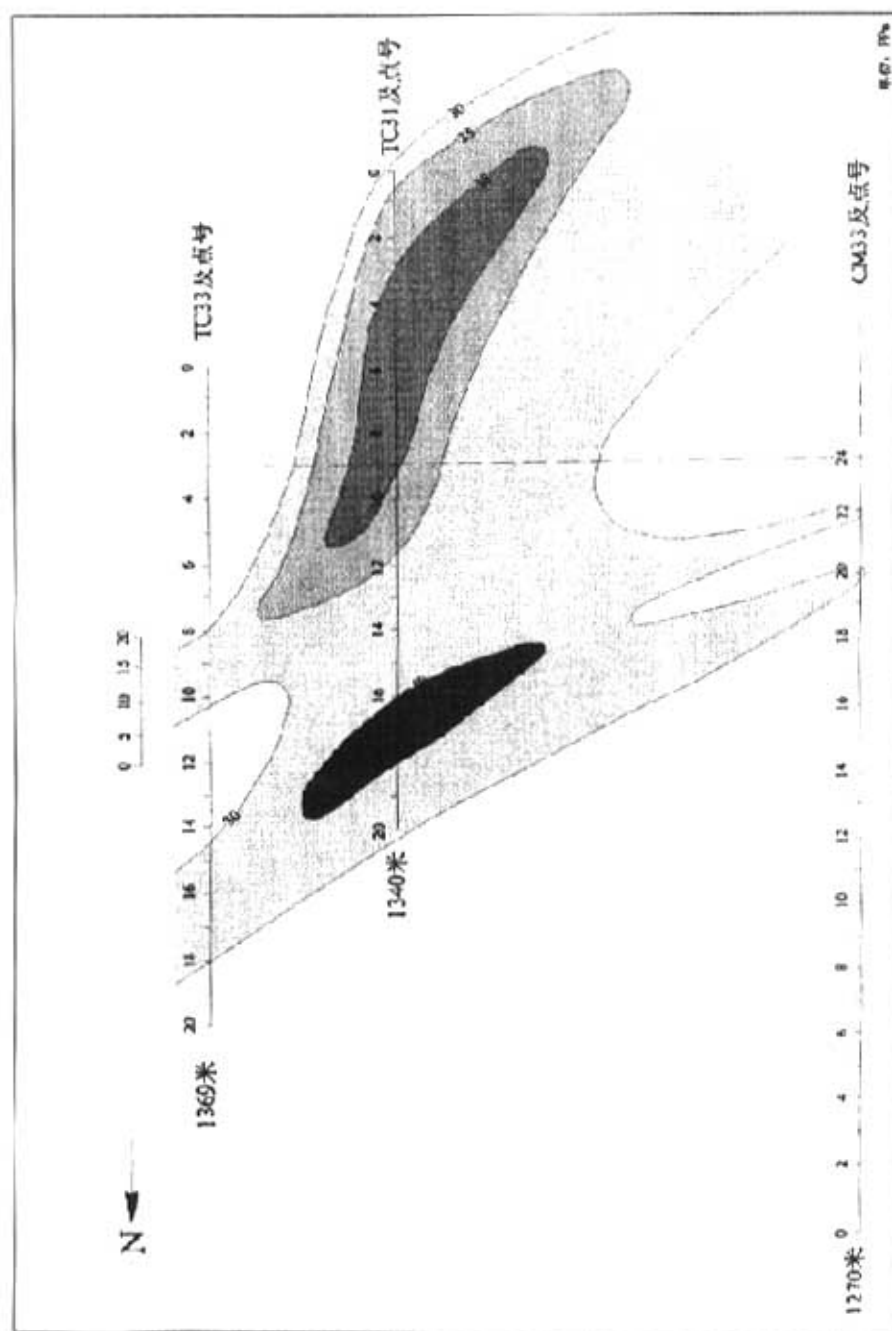


图 5-13 33 线剖面 Hg 原生晕分布图



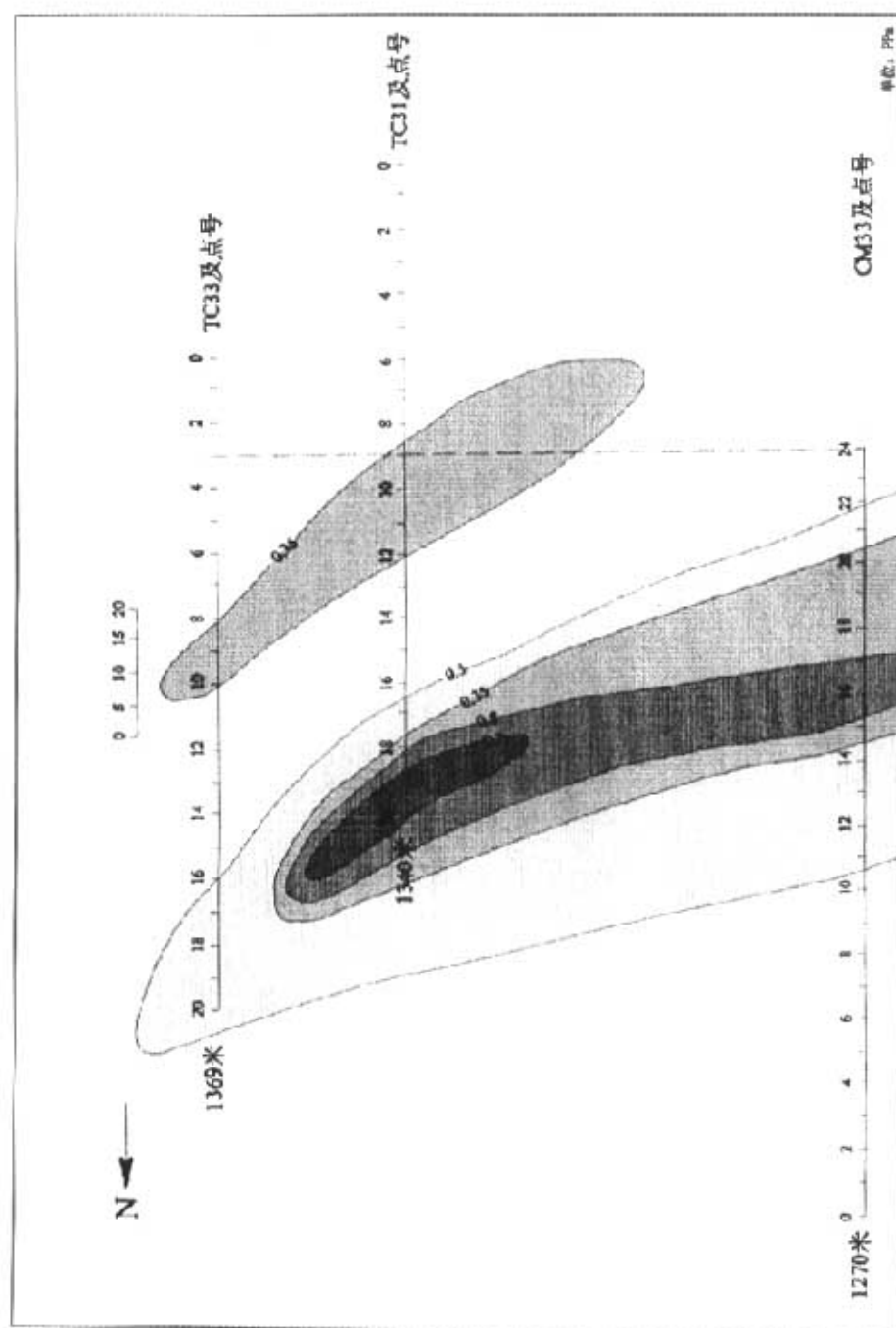


图 5—14 33 线剖面 Bi 原生晕分布图

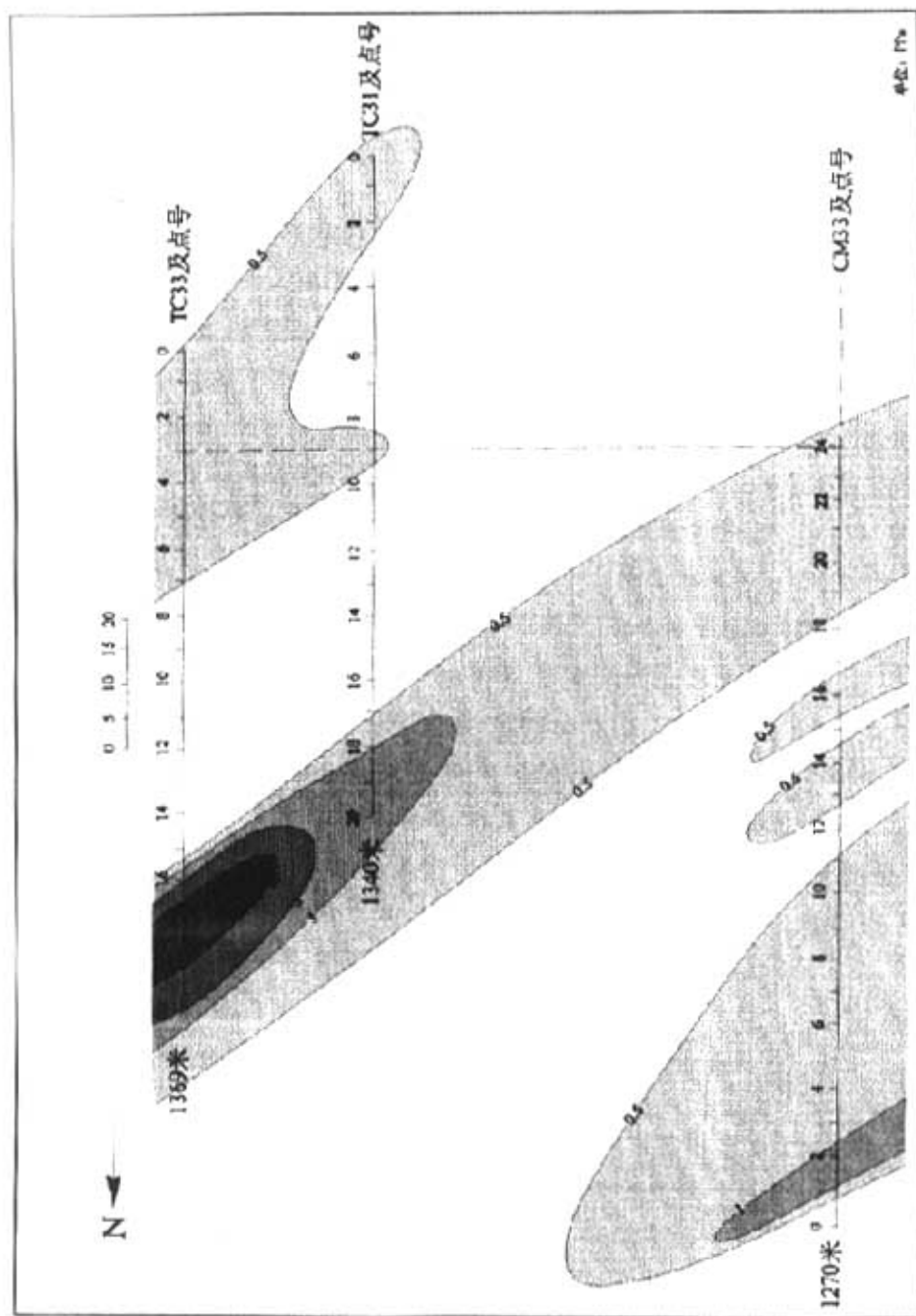


图 5-15 33 线剖面 Mo 原生晕分布图

## § 5.3 地球物理探矿

### § 5.3.1 概述

汪家山数米厚的覆盖层使地质研究缺少基岩露头,影响了地层岩性的系统观察测量和研究,不但使基岩地质图难以填制,更给含矿性的系统分析造成了困难。同时覆盖(土层多为风化和坡积的)也使地球化学无从着手。因此,物探工作就成了汪家山含矿性评价预测的主要手段。为此,本次工作适当加大了物探工作量,在汪家山沿矿带东西走向共布置了四条电剖面线,自北而南分别编号为  $y_1 \sim y_4$ , 点距均为 10 米。其中,  $y_1$  的 16 号点位于山上王家住房的东南角,基线方向  $183^\circ$ , 交  $y_1$  于 16 号点西 1 米处。单个测线长度分别为:  $y_1=380$  米(测点 37 个),  $y_2=380$  米(测点 38 个),  $y_3=280$  米(测点 28 个),  $y_4=360$  米(测点 35 个), 合计 1400 米, 测点 138 个, 控制面积 193600 平方米(近 20 万平方米)。

在 1270 中段和 25 线分别沿穿脉(倾向)进行了高密度电法测量。

在 CM33 的 110 米巷道中共设计测深点 11 个, 每测深点中实际测点 8 个, 测深线平均长 110 米, 共计测点 88 个, 测线长度 880 米。控制面积 8800 平方米。

25 线测线供电极南北间距 720 米, 接收点自南而北地表长 165 米, 设计测深点 16 个, 点距为 5 米, 其中 14 号点与  $y_4$  测线 31 号点同点。测线方位  $177^\circ$ 。每个测深点分别有测点 12~16 个, 点距 10 米, 合计 230 个。测深线总长 2560 米, 控制剖面面积 25600 米, 其工作量统计如下(表 5—6):

表 5—6 工作量统计表

测线位置	测线点个数(个)	测线长(m)	控制面积( $m^2$ )	方法
$y_1 \sim y_4$	136	1400	193600	中梯
CM33	88	850	8800	测深
25 线	230	2560	25600	测深
合计	454	4810	228000	

在以上各线的实际测量中分别提取了视电阻率和视极化率两组数据, 共 980 个, 基本控制了自 15 线以东至 33 线全区段的地球物理特征, 为评价预测该区段的金矿提供了物探依据。

此外, 应矿山的要求, 为查明局部矿体, 项目对 1018 的 9 线~1071 的 7 线间进行了 CT 扫描。

### § 5.3.2 激发极化法探矿

#### 1. $y_1 \sim y_4$ 电测剖面分析

##### 1) 装置

$y_1 \sim y_4$ 均采用中梯装置。 $y_1 \sim y_2$ 间为水平 80 米， $y_2 \sim y_3$ 为 60 米， $y_3 \sim y_4$ 为 70 米。 $y_1 \sim y_3$ 共用一组供电线路，设于  $y_2$  线上。 $y_4$ 单用一条供电线路。测线方向为  $87^\circ$ 。

$y_2$ 供电极 AB 之间的距离为 560 米，A 极布于 CT15 上，B 极位于 TC37 之东坡上 20 米。 $y_4$ 供电极 A 位于 TC33 线，B 极位于 1270 中段沿脉与 CM33 之交点，AB 全长 580 米。

据此可以认为有效探测深度约为 100 米以内。

##### 2) 异常分析

图 5—16 为异常平剖面图。图中粗线 ( $M_s$ ) 为视极化率，细线 ( $\rho_s$ ) 为视电阻率。从图中可以看出，除  $y_4$ 30~34 号点之间表现为低阻高极化之外，绝大部分地区视电阻率与视极化率呈不相关，根据在本地区的工作经验，视电阻率受各种因素干扰较大，因而在探矿方面效果较差，而视极化率则相对效果较好。现做如下分析：

##### ① 总趋势：

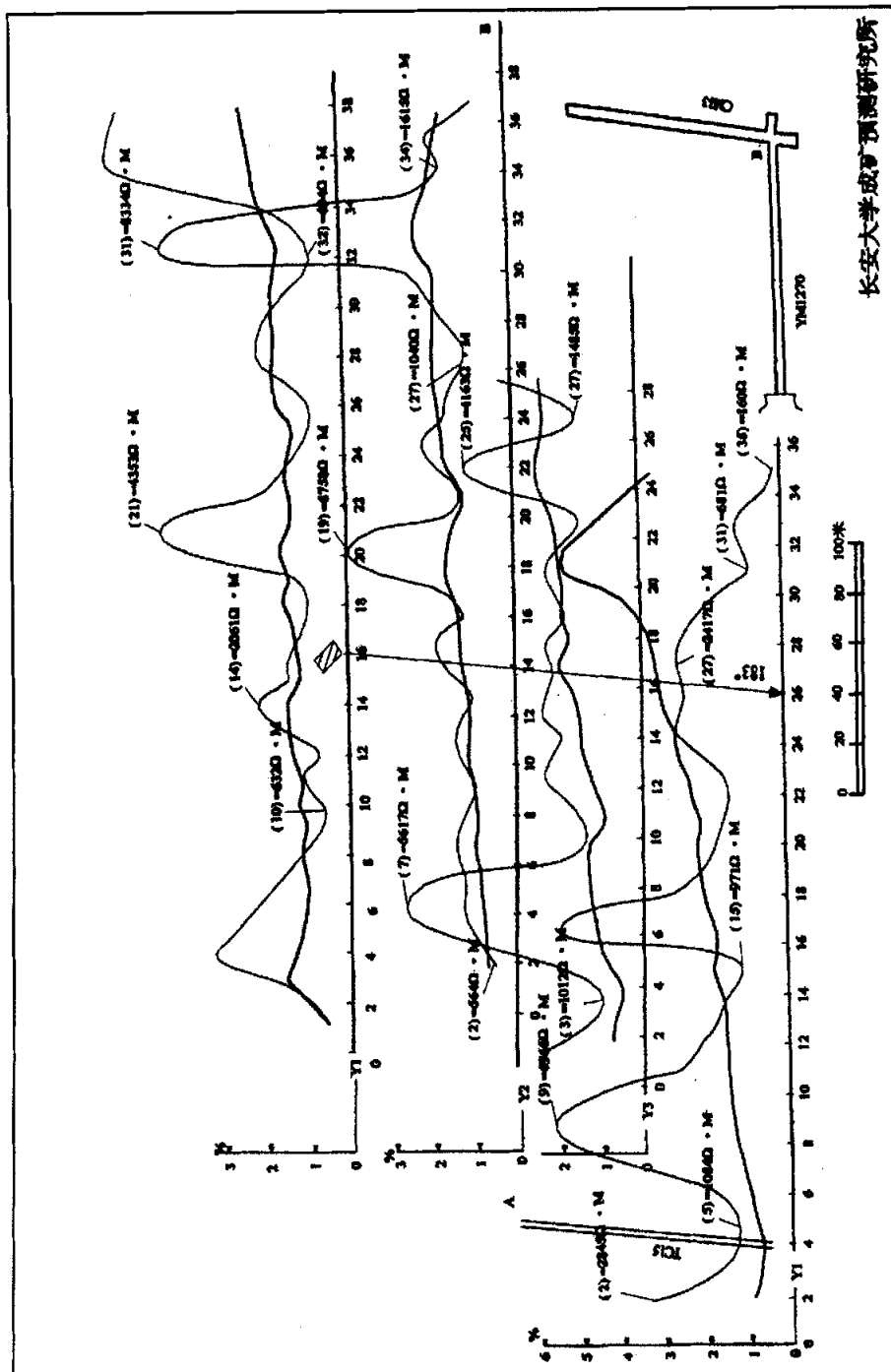
从四条剖面线来看，总体上极化率显示西低东高的趋势，而且这种趋势自  $y_1$  到  $y_4$  愈来愈强，至  $y_4$  线 0~17 号点间  $\eta_s < 2\%$ ；17~26 号点之间， $2\% < \eta_s < 3\%$ ；26 号点以东  $\eta_s > 3\%$ ，考虑到地层结构及炭质岩分布的位置，此极化率变化应主要由硫化物引起。

##### ② 异常分布：

A、 $y_4$  异常，从 28 点往东至 34 号点，形成一个高极化异常，异常宽约 60 米，峰值位于 31~32 号点间， $\eta_s = 5.28\%$ ，电阻率很低，在 35 号点仅  $160 \Omega \cdot M$ ，为低阻高极化，推断系受炭质岩电性叠加的硫化物引起，引起异常之地质体应在测线下方 20~30 米深处。

B、 $y_3$  异常，在 4~10 号点之间，异常宽度共 60 米， $\eta_s$  由 0.55% 升到了 1.35%，然后由下降至 0.88%，为一宽缓的异常，该点电阻率为高异常，反映了约 50 米深度以下有一高阻高极化弱异常体。

C、 $y_2$  异常，在 17~20 号点，30~33 号点处各有一高阻高极化体，埋深应在 30 米以下。



长安大学成矿预测研究所

图 5-16 马鞍桥金矿汪家山视电阻 (极化) 率剖面图

## 2. 25 线电性分析

### 1) 装置

25 线是对  $y_4$  线异常的深部扫描断面, 测深一般距地表 155~165 米, 采用三极测深, A、B 供电电极分别置于梁上至沟南侧, 无穷远位于山粮上之 7 线, 距 25 线 700 米。因此, 装置也可视作联合剖面法。地表点距 5 米, 测深点距 10 米, MN 为 20 米,  $A_1 \sim A_2 \sim A_3 \sim \dots \sim A_n$  为 20 米,  $O_1 \sim O_2 \sim O_3 \sim \dots \sim O_n$  间距 10 米。地表测线方向  $177^\circ$ , 其 14 号点交  $y_4$  线于 31 号点。

### 2) 异常分析

25 线异常 (图 5—17, 图 5—18)

激电异常共有两个:

I 号异常位于 5~11 号点的下方, 宽约 30 于米, 垂向延伸以 4% 为边界可达 80 米左右, 呈窄而深柱状。中心异常值高达 8% 以上, 异常南界急剧降低为陡变带, 北界相对变低较缓, 且在距地表 30 米左右的深度上向北分枝延伸, 与 II 号异常遥接。两异常的外部则被 3% 的极化率包络为一体。

在电阻率方面, 在大体相同的位置上出现一低阻异常 (I 号), 亦呈宽柱状, 核心电阻率仅 100 欧姆·米。

有此分析认为, I 号激电异常的低阻高极化特征主要受炭质岩影响, 但明显有硫化物参与, 仍可看作含矿异常。

II 号异常位于 33 号点下方 80 米左右, 图中只出现了异常的南部, 由其趋势看, 向北仍有延展, 其南北宽应在 40 米以上, 垂深延长约有 50 米左右 (以 4% 为边界)。电阻率反应不明显, 考虑到该区的岩性层 (可以为初糜棱岩) 及异常形态, 应为硫化物异常体。

## 3. 1270 中段 CM33 电性分析

### 1) 装置

同 25 线, 亦采用三极测深。测线沿穿脉巷道布置。A、B 极受巷道长度限制, 自北掌子面到穿脉与沿脉巷道交界处长 105 米无穷远位于 13 线探槽西边坎下,  $A_1 \sim A_2 \sim A_3 \sim \dots \sim A_n$  为 15 米,  $O_1 \sim O_2 \sim O_3 \sim \dots \sim O_n$  间距 5 米。

### 2) 电性分析

由于该巷道地面积水, 故引起极化率变异, 在 10 米深度以上为积水引起之层状异常, 在此下方, 于 20 米和 65 米之下各有一个弱异常 (图 5—19)。岩性上前者为

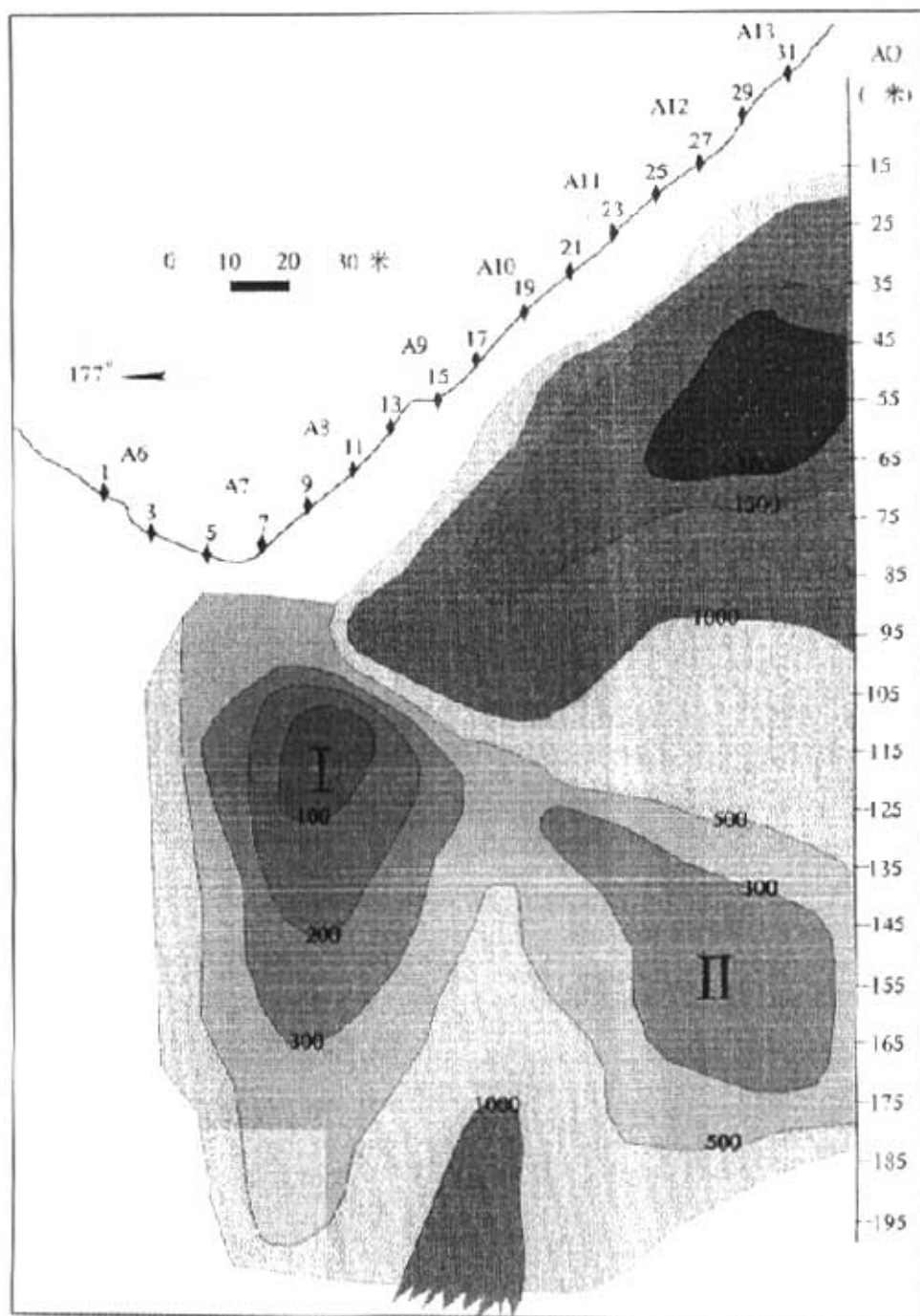


图 5—17 马鞍桥金矿汪家山 25 线电阻率铅直投影图

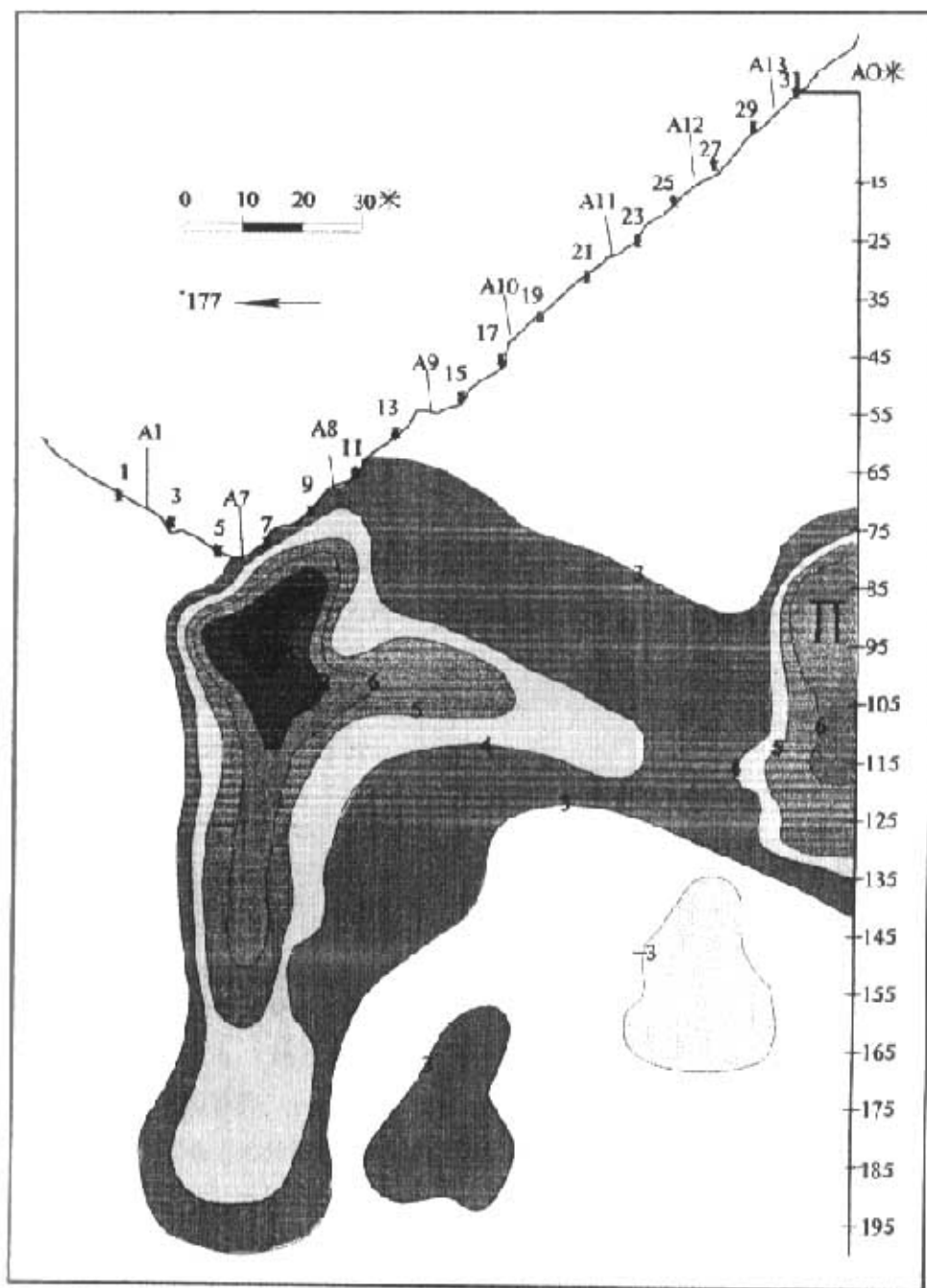


图 5—18 马鞍桥金矿汪家山 27 线电阻率铅直投影图



2号点,是含(磁)黄铁矿的糜棱岩化的变砂岩,异常是该层位向南倾的反映。后者为11号点上含石英脉及(磁)黄铁矿的黑云石英初糜棱岩,异常是它南倾下延的结果。在95米往南极化率增高,为17点以南至23点之间的高硫化物引起,异常呈南倾,由于巷道距离的限制,仅出露了北部一角,它是含矿最有利的部位,在16~17号样点上化探采样分析金品位为1.2g/T(样长5米),矿部采样为2g/T。

#### 4. 结论

综合以上异常分析可归结如下:

- ①汪家山17线以东物探异常主要集中在23~25线以东地段;
- ②电性显示,在山梁上,至少80米深度以上无电性异常反应;
- ③25线I号异常自7号点以下20~30左右可能有矿体存在;
- ④25线II号异常为硫化物异常,应考虑其为矿体的可能性;
- ⑤CM33如有较高品位工业矿体应在图上90米以东20米深度以下。

#### § 5.3.3 CT扫描

项目应矿山要求,对1018中段9线~1071中段7线间进行了CT扫描,在南北两端各圈出了一个电性异常(图5—20),经分析应为硫化物引起的。在地质上也属成矿的有利部位。矿山验证后可根据电性对比查找扫描面上的盲矿体。建议从1044中段7线或7-1线南穿验证。

### § 5.4 综合预测

根据以上资料与分析,现进行综合预测如下:

#### 1. 总体含矿情况

1)从八队的土壤地球化学分析结果和包括本次项目的地、物、化探研究来看,汪家山的成矿强度相对较弱,没有显示出像17线以西和56~96线那样的较富而又大矿体的信息,但据此次研究,局部有中、小型矿体存在;

2)从研究结果来看,汪家山在17线~25线范围内为含矿较差地区,而有利的含矿部位则在25线之东,矿体的出现也应该在这一部位为主;

3)从深度上来看,山梁上向下百米深度范围内没有含矿信息出现,因此判定为无矿区。在25线之东,工业矿体有向下变大增富的趋势。

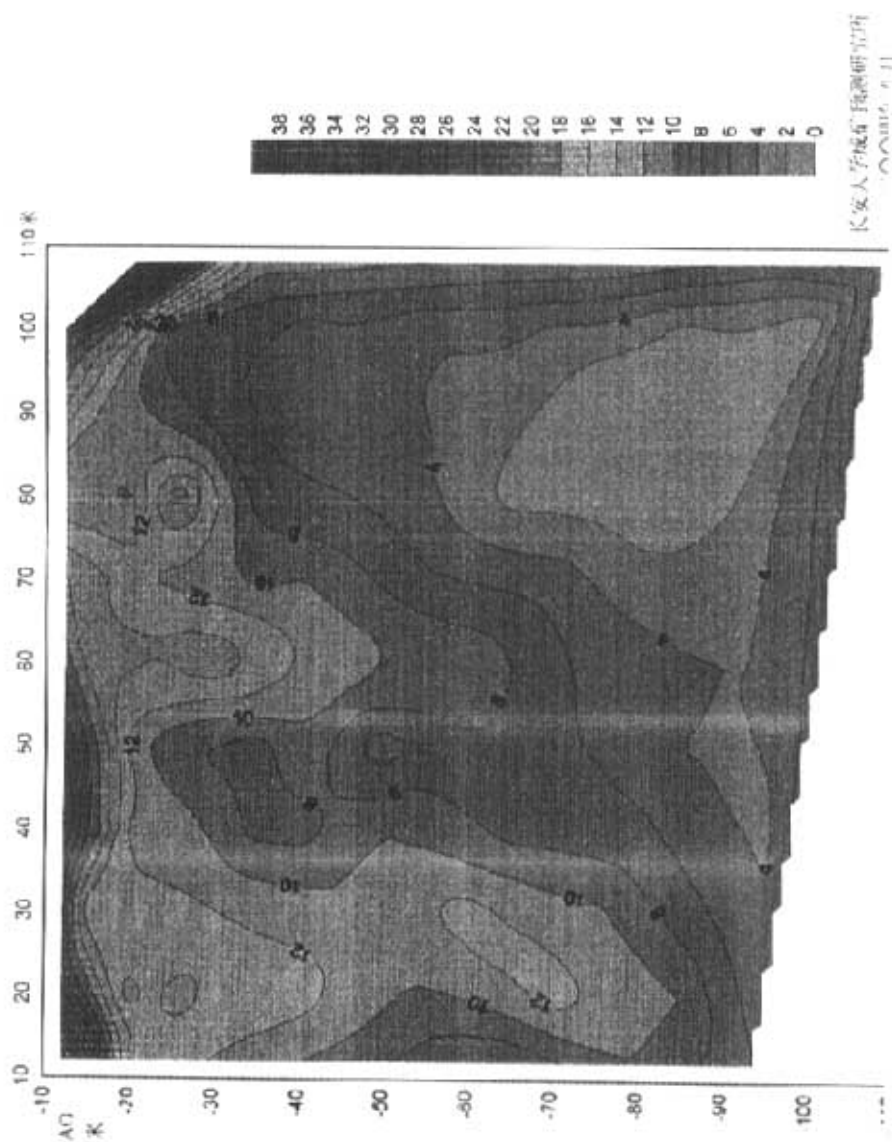


图 5—19 马鞍山金矿 CM33 视极化率断面图

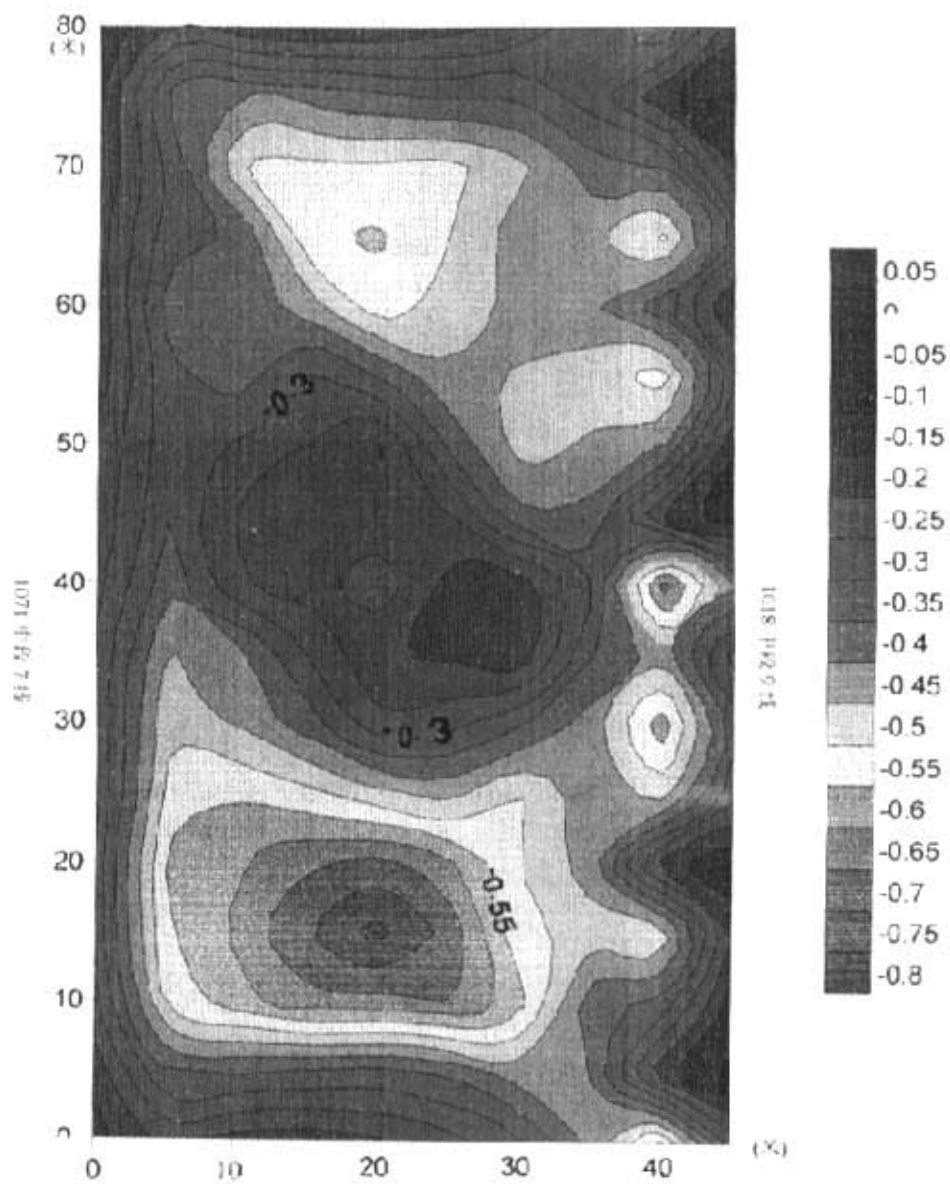


图 5—20 马鞍桥金矿 1018 中段 9 线—1071 中段 7 线 CT 扫描平面图

## 2. 矿体预测

1) 在 CM33 线下方约 30~50 米的深度范围内, 自化探 17 号点沿倾向往南, 可能出现工业矿体;

2) 25 线在标高 1200 米左右的東西范围内, 应有一金矿体存在。

3) 从地质和物化探分析, 25 线以东的矿体仍然表现为右行左列式, 并均赋存于深灰色黑云石英糜棱岩之上的浅灰白、灰绿色绢云母超糜棱岩或片糜岩之中, 它们的上界是炭质千枚岩, 下界为黑云石英糜棱岩;

4)  $y_3$ 测线的 4~10 号点异常, 25 线断面的 II 号异常有可能为小型矿体, 但应在条件具备后进一步工作以准确判定。

### § 5.4.2 建议

1. 总的工程量不宜投入过大, 而应以一点突破, 向周边发展的方法进行坑道揭露。目前以 25 线探洞下方 30 米进行坑探为宜, 然后视情况向 33 线方向掘进;

2. 23 线以西可暂不考虑工程布置, 尤其在山梁地表以下百米范围内可不考虑工程布置;

3. 在 25 线穿脉巷道形成后, 本项目可在 25 线到 CM33 线之间以 CT 扫描方式补充做圈矿工作, 以进一步查明矿体的具体部位和规模。

## § 6 结论

1. 马鞍桥金矿是受韧性剪切带控制的金矿床，容矿地层为上泥盆统桐峪寺组，容矿岩石为细碎屑岩建造。

2. 热液蚀变普遍，以硅化黄铁矿化、绢云母化等为主，蚀变带为石英—黄铁矿化带、绢云母带及碳酸盐带。

3. 韧性剪切带与金矿关系密切。研究区韧性剪切带主要经过四期变形。即第一期为自北往南推覆，确定了此剪切带（矿化带）的位置和形态产状；第二期为自南向北逆冲推覆，控制了带内矿床的位置；第三期走滑—滑脱引张，对矿体进行改造和定位。其中对成矿影响较大的则为二、三两期。至于带内普遍出现的第四期多组脆性断层，是成矿后构造，对成矿没有多大意义，对矿体的位移破坏距离也较小。

4. 通过对该矿床载金矿物——黄铁矿的标型特征研究及其与金矿化的关系，该区黄铁矿可分为四期，其中第二、三期的黄铁矿为主要的载金矿物。

5. 成矿温度为  $210^{\circ}\text{C}\sim 260^{\circ}\text{C}$ ，盐度为  $7.8\%\sim 4.5\%$ ，成矿深度大约  $1\text{km}\sim 2\text{km}$ ，属中低温浅成矿床。

6. 在 CM33 线下方约  $30\sim 50$  米的深度范围内，自化探 17 号点沿倾向往南，可能出现工业矿体；25 线在标高 1200 米左右的東西范围内，应有一金矿体存在。

7. 从地质和物化探分析，25 线以东的矿体仍然表现为右行左列式，并均赋存于深灰色黑云石英糜棱岩之上的浅灰白、灰绿色绢云母超糜棱岩或片糜岩之中，它们的上界是炭质千枚岩，下界为黑云石英糜棱岩；

8. y3 测线的 4~10 号点异常，25 线断面的 II 号异常有可能由小型矿体引起的。

## 致 谢

本文是在导师刘建朝教授和张学仁教授的悉心指导下完成的。从论文选题、野外调研、室内岩矿地球化学测试、国内外文献调研到论文编写诸方面，无不浸润着导师的心血。导师高尚的人格、博大的胸怀、渊博的知识、严谨的治学态度以及对学生的言传身教，使学生终身受益，没齿难忘。除此之外，还在生活上给予了无微不至的关怀和帮助。在此，谨向导师刘建朝教授致以最诚挚的谢意。

作者在野外调研和资料收集期间，得到长安大学张学仁教授、王平安老师帮助，矿山廖凯良矿长助理和景勇奇副厂长除悉心安排项目组的生活和工作外，还在百忙中抽出时间，安排和带领矿山各路工程技术人员自始至终参与项目的各项工程。多次参加野外工作的人员有：赵振攀以及李卫刚、李福州、张卧龙、陈敏鹏、云养平、曾照雷、钟洪波、孙强、刘学友。此外，还有工队的张涛、谈盛宝、张新红等十余人参加了野外工作。作者在此一并表示衷心的感谢！

论文的完成得到了辛红刚、姚卫华、余吉远、李注苍、韩会平、马立成、晁会霞、叶书锋、舒建生、陈文龙、李金超、赵国斌等硕士的帮助与支持，在此深表谢意！

在此，谨向所有关心和帮助过我的老师、同学、朋友及家人表示深深的谢意！

## 参考文献

- [1]张学仁、王平安、云正文等. 陕西马鞍桥金矿汪家山矿段成矿预测研究报告. 长安大学. 2004
- [2]张学仁、王平安等. 陕西马鞍桥金矿盲矿体预测研究报告. 长安大学. 2003
- [3]陈柏林、李中坚、董法先. 亦论韧性剪切变形与金的成矿作用[J]. 贵金属地质. 1998, 7 (3): 228~232
- [4]陈柏林. 糜棱岩型金矿元素丰度与构造变形的关系[J]. 矿床地质, 2000, 19 (1): 11~25
- [5]胡玲. 显微构造地质学概论[M]. 北京:地质出版社. 1998
- [6]贾国志. 韧性剪切构造造成岩成矿作用及其对金矿的控制[J]. 地质评论. 2000
- [7]何永年、林传勇、史兰斌. 构造岩石学基础[M]. 1998. 北京:地质出版社
- [8]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[J]. 桂林工学院学报. 2001, 21 (3): 207~211
- [9]刘玉琳. 国外韧性剪切带型金矿研究现状[J]. 黄金地质, 1996, 76~80
- [10]刘瑞荀. 显微构造地质学. 北京大学出版社. 1988
- [11]邱小平. 深部韧性剪切变形与金矿成矿作用[J]. 黄金地质. 1999, 5 (3): 6~11
- [12]郑亚东. 常志忠. 岩石有限应变测量及韧性剪切带[M]. 1985. 北京:地质出版社
- [13] W.W.Moorhouse. 岩石薄片研究入门[M]. 地质出版社, 1986
- [14]隗合明. 周至马鞍桥金矿床成矿控制条件及找矿标志[J]. 西安地质学院学报. 1997, 19 (4), 20~26
- [15]魏宽义、孟宪忠、刘淑文. 马鞍桥金矿控矿构造规律及成矿预测[J]. 西安工程学院学报. 2001, 23 (1), 20~24
- [16]李瑞生. 陕西周至马鞍桥金矿床地质特征及成因分析[J]. 陕西地质. 1997, 15 (2), 31~35
- [17]张拴宏、王书兵. 陕西周至马鞍桥金矿控矿构造及成矿模式[J]. 地质找矿论丛. 1999, 14 (3), 71~77
- [18]张复新、马建秦. 马鞍桥金矿成矿地质条件及矿床成因[J]. 地质找矿论丛. 1997, 12 (1), 18~24
- [19]李福东、邹湘华、高纪璞. 马鞍桥微细浸染型(沉积岩容矿)金矿床(体)快速定位预测研究. 西北地质. 2001, 34 (1), 27~63
- [20] 何绍勋、段嘉瑞、刘继顺、张曾荣. 韧性剪切带与成矿. 北京:地质出版社, 1996
- [21] 游振东、王方正. 变质岩岩石学教程. 中国地质大学出版社. 1988
- [22] 方耀奎. 小秦岭含金石英英脉中黄铁矿的含金性. 成都地质学院学报. 1988, 2
- [23] 徐学纯. 含金韧性剪切带的特点及其标志. 黄金地质科技. 1990
- [24] 武贵禄、王光奇、曹福林. 韧性剪切带与金矿的关系. 吉林地质. 1989, 3
- [25] 刘继顺. 韧性剪切带中金成矿研究的若干问题. 地质论评. 1996, 42 (2)
- [26] 方耀奎. 新疆沙尔布拉克金矿床成因矿物学成矿模式. 地球科学——中国地质大学学报

- 报. 1996, 21 (3)
- [27] 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. 地质地球化学. 2000, 28 (3)
- [28] 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. 桂林工学院学报. 2001, 21 (3)
- [29] 卢焕章、池国祥. 剪切带中流体地球化学特征及其找矿意义. 桂林工学院学报. 1995, 15 (1)
- [30] 方耀奎、叶荣、李福春. 广西凤山金牙金矿床黄铁矿的标型特征及其实际意义. 矿物岩石. 1992, 12 (2)
- [31] 隗合明、丁华. 陕西马鞍山金矿床成因探讨. 黄金地质. 1999, 5 (2)
- [32] 张拴宏、王书兵. 陕西周至马鞍山金矿控矿构造及成矿模式. 地质找矿论丛. 1999, 14 (3)
- [33] 王民良. 陕西秦岭泥盆系金矿控矿条件及找矿标志分析. 有色金属矿产与勘查. 1998, 7 (6)
- [34] 李兆麟、翟伟、杨荣勇、黄栋林、全亚荣、赵文霞、李文. 韧性剪切带金矿床中熔融包裹体及矿床成因. 矿物岩石地球化学通报. 2000, 19 (4)
- [35] Bonne maison M. Les "felons de quartz aurifere" au cas particulier de shear zone aurifere. Chron. Rech. Min., 1986, 482: 55~65
- [36] Cameron E M. Derivation of gold by oxidative meta morphism of a deep ductile shear zone: Part 1. Conceptual model. Journal of Geochemical Exploration, 1989, 31: 135~147
- [37] Eisenlohr, Groves D, Partington G A. Crustal-scale shear zones and their significance to Archaean gold mineralization in western Australia. Mineral. Deposita, 1989, 24: 1~8
- [38] Philips, G N. Geology and Alteration in the Golded mile kalgoorlie. Econ. Geol. Vol. 81, No4
- [39] Robert F, Brown A C. Archaean gold-bearing quartz veins at the Sigma Mine, Abitibi greenstone belt, Quebec: Part 1. Geologic relations and foration of the system. Econ. Geol., 1986, 81: 578~592
- [40] Sibson K h, Robert F, Poulsen K H. Highranghe everse faults, fluid-pressure cycling, and mesothermal gold-quartz deposits. Geology, 1988, 16: 551~555
- [41] Tulls J, Yunel R A. Experimental deformation of Westerly Oranite. J. Geophys Res., 1977, 82
- [42] Twiss R J. Theory and applicability of a recrystallized grain size paleapiezometer. Pageoph, 1977, 115: 227~244
- [43] Weather M S. et al. Differential stress determined from deformation induced microstructure of the Moin Thrust. J. Geophys Res., 1979, 84: 74~94



## 图版说明及图版

### 图版 I

1. 韧性变形中碎斑形成书斜构造, 指示左行剪切。

1025 中段, 矿体。薄片, 正交偏光。

2. 韧性变形中石英 (Q) 成核—幔构造。

1018 中段, 薄片, 正交偏光。

3. 堇青石角岩在韧性变形中以旋转碎斑存在, 泥质变为定向绢云母 (C 面理)

东矿段公路边矿带内, 薄片, 正交偏光。

4. 东矿段矿化带的 S—C 面理, S 面理由长英质碎斑组成, C 面理为定向绢云母。

东矿段公路边, 薄片, 正交偏光。

5. 黄铁矿碎斑的压力影。

1018 中段 7 线, 薄片, 正交偏光。

6. 黄铁矿 (Py) 在 S 面理中受剪切拉长变形。

1364 中段 92 线底板, 光片, 单偏光。

### 图版 II

1. 包裹体成椭圆形。

2. 包裹体成圆形。

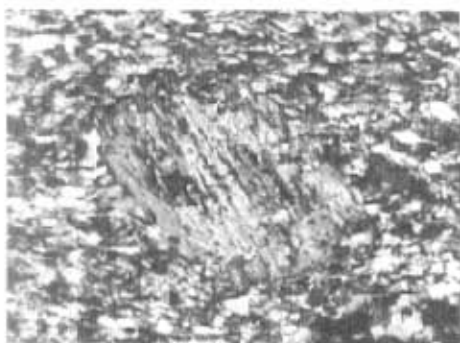
3. 包裹体成短柱状。

4. 包裹体成不规则状。

5. 包裹体成透镜状。

6. 包裹体成群出现, 并形态基本相似。

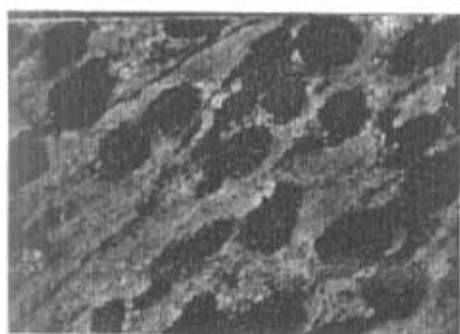
图版 I



1



2



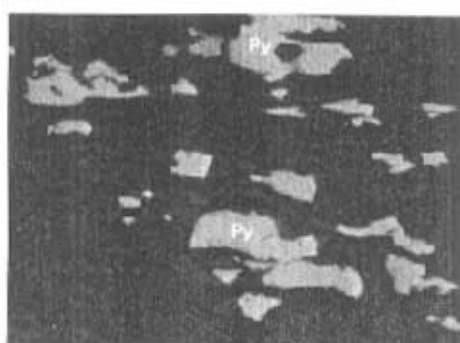
3



4

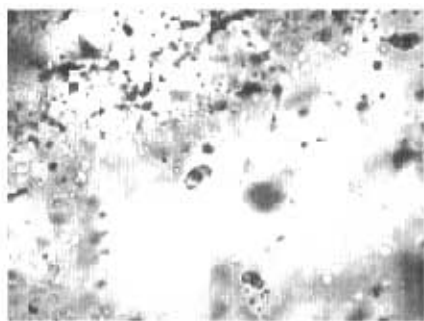


5

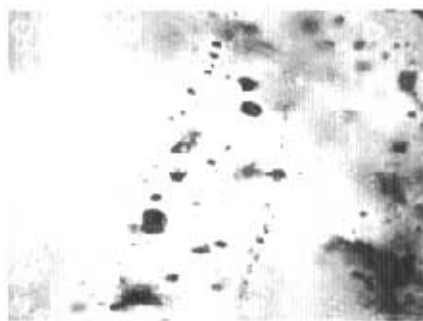


6

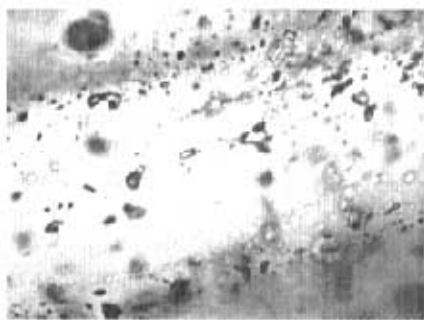
图版 II



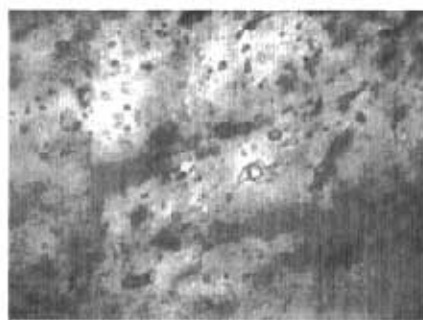
1



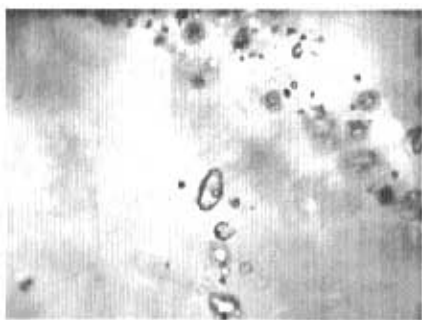
2



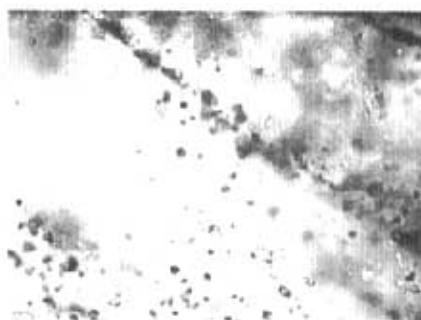
3



4



5



6