

豫西马超营断裂带的控岩控矿作用研究

刘红樱 胡受奚 周顺之

(南京大学地球科学系, 南京)

提 要: 马超营断裂带是熊耳山南坡自中岳期形成后长期活动的 NWW 向区域性深大断裂, 是中元古熊耳群火山岩浆向上运移的通道和火山活动的中心。以及火山弧和弧前盆地的分界, 并在中生代发展为大型陆内挤压俯冲带。表现为由南向北的 A 型俯冲。它控制了熊耳群的形成和分布以及官道口群和栾川群的北界; 造成了断裂带及其南北两侧岩石变形变质的差异; 控制了熊耳山地区的岩浆和热液活动, 使岩脉和热液蚀变沿断裂带发育, 并使改造型花山-五丈山等花岗岩和同熔型斑岩-角砾岩在断裂带上盘或北侧由近到远分布, 矿床分布显东西成带、北东成行。

关键词: 马超营断裂带 控岩控矿作用 河南

马超营断裂带位于华北地台最南缘。是熊耳山南坡最大的 NWW 向区域性大断裂。它属于潘河-卢氏-马超营断裂带东段, 东起潭头盆地以东, 可能与伏牛山北缘断裂带相接^[1], 西经狮子庙、马超营, 在卢氏与潘河-卢氏断裂带相连, 长 50 km, 走向 270°~300°, 倾向北, 倾角 50°~80°。据地球物理资料, 断裂带在物探剖面的居里面上显示的深度为 34~37 km, 下切深度达 10 km^①。但是从地质特征、延展规模、断裂组合和演化历史等方面分析, 其切深远大于 10 km。

马超营断裂带主要由四条逆冲断层组成, 自北向南为康山-南坪断层、铁岭-白土-下雁坎断层、马超营-狮子庙-红庄断层和南天门断层, 涉及宽度达 4 km 以上 (图 1)。主断层之间又有 3~5 条次级断层平行分布, 并在走向上和主断层分支复合。各断层向西收敛, 呈近东西向, 向东散开并向南偏转, 总体呈北西西-南东东向。

马超营断裂带形成时间早, 演化历史长, 在熊耳山地区地壳发育和成岩成矿作用中占有举足轻重的位置, 特别是在中生代演化为陆内挤压俯冲带^[1~3], 由陆内挤压俯冲所引起的成岩成矿作用更为明显和重要 (图 2)。

1 马超营断裂带对熊耳群火山岩的控制作用

熊耳群火山岩系是以安山岩为主的钙碱性火山岩系, 它构成一个古火山弧, 是古安第斯型活动大陆边缘的组成部分^[1,4~7]。这一火山岩系是中元古代秦岭古洋壳向华北古大陆板块俯冲运动的产物 (图 2b)。

刘红樱, 男, 1966 年生, 助理工程师, 博士生, 研究方向: 区域成矿学。邮政编码: 210093

1996-07-26 收稿, 1996-12-02 修改回, 徐川编辑

①杨守渠, 1987, 利用重磁成果对豫西断裂构造的初步探讨。豫西地质, 第 1 期, 48~56 页

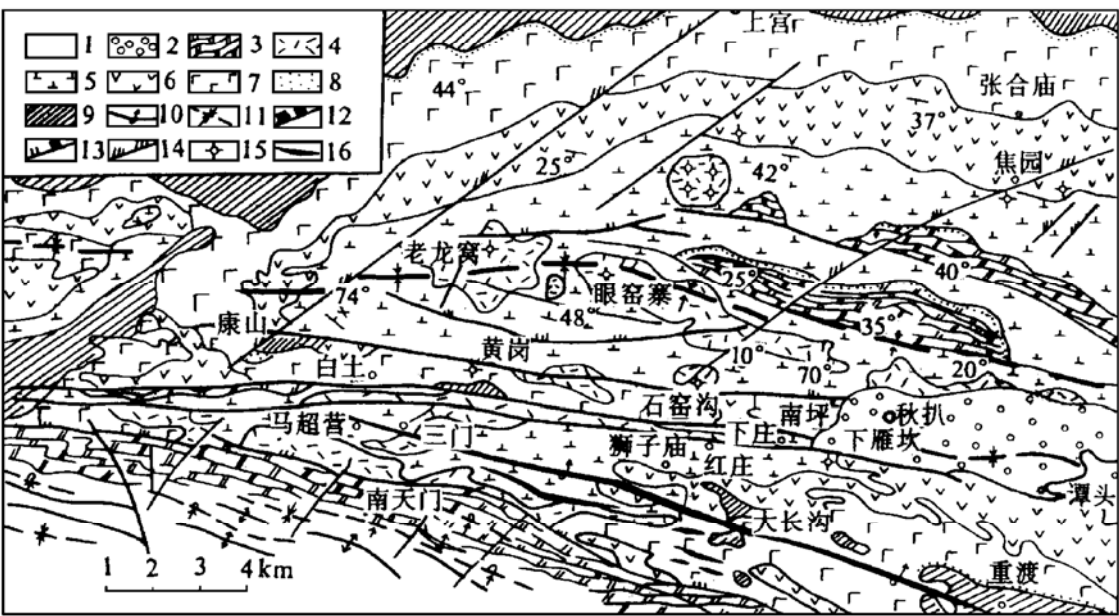


图 1 马超营断裂带地质图
(据喻积贤等 1986 年原图修编)

1—第四系；2—K₂—E₁ 断陷盆地；3—上盖层——蓟县系官道口群和栾川群；4—下盖层——长城系熊耳群眼窑寨组英安斑岩、流纹岩；5—熊耳群坡前街组安山岩、粗安岩、英安岩；6—熊耳群焦园组安山岩、英安斑岩、粗安岩、流纹岩、火山碎屑岩；7—熊耳群张合庙组安山岩类；8—熊耳群磨石沟组砂砾岩和少量安山岩；9—基底——晚太古—早元古太华群花岗绿岩；10—倒转背斜；11—向斜和倒转向斜；12—压性断层；13—张性断层；14—压扭性断层；15—古火山口；16—磁铁石英岩

Fig. 1. Geological sketch map of Machaoying fault zone.

1—Quaternary; 2—K₂—E₁ fault basin; 3—Upper capping beds: Guandaokou Group and Luanchuan Group of Jixian System; 4—Lower capping beds: Dacite porphyry and rhyolite of Yanyaozhai Formation in Xionger Group of Changcheng System; 5—Andesite, trachyandesite and dacite of Poqianjie Formation in Xionger Group; 6—Andesite, dacite porphyry, trachyandesite, rhyolite and pyroclastic rocks of Jiaoyuan Formation in Xionger Group; 7—Andesites of Zhanhemiao Formation of Xionger Group; 8—Sandstone or psephyte and small amounts of andesite of Moshigou Formation in Xionger Group; 9—Basement: Granite-greenstone of Late Archean-Early Proterozoic Taihua Group; 10—Inverted anticline; 11—Syncline and inverted syncline; 12—Compression fault; 13—Extension fault; 14—Compresso-shear fault; 15—Paleocrater; 16—Magnetite quartzite.

熊耳群火山岩系位于华北古大陆板块南缘。其南界为黑沟-栾山-确山-固始大断裂。该断裂以南是东秦岭地槽褶皱带。栾川断裂向下延伸 20 km 后向北倾角变缓^①，是一条古俯冲带^[8]，而马超营断裂带位于其北侧。

1.1 古马超营断裂是熊耳群火山活动的中心

早元古代的中岳构造旋回 (2150×10⁶~1850×10⁶ a)，由于南北向强大的挤压应力，使先存岩石和地层（太华群花岗绿岩）发生强烈变形和变质，并伴生混合岩化、花岗岩化和岩浆活动，使华北的原始陆核发生碰撞、拼贴，形成统一的华北古板块。这时秦岭古大洋板块开始沿栾川古俯冲带向北俯冲，导致华北古板块边缘地幔上隆，其上部刚固结的结晶基底——

① 杨守渠，1987，利用重磁成果对豫西断裂构造的初步探讨。豫西地质，第 1 期，48~56 页

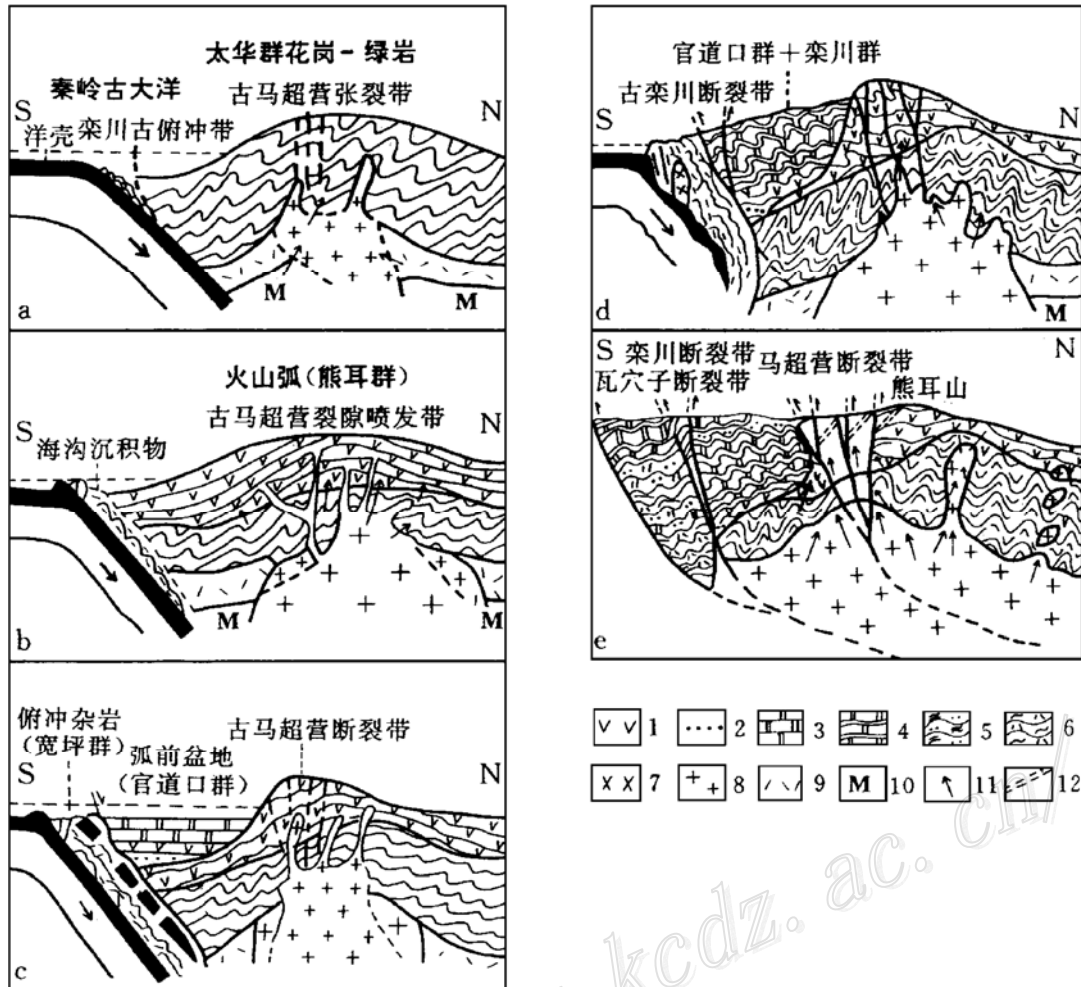


图2 马超营断裂带演化与控岩控矿示意图

1—火山岩；2—砂（砾）岩；3—白云岩；4—大理岩；5—云母石英片岩；6—绿片岩；7—超基性岩；8—岩浆及岩浆岩；9—下地壳；10—上地幔；11—成矿物质运移方向；12—蚀变破碎带。a—萌芽期（中岳旋回 $2150 \times 10^6 \sim 1850 \times 10^6$ a）；b—发展期（崤熊旋回 $1850 \times 10^6 \sim 1350 \times 10^6$ a）；c—蠕动期（松弛期，卢临旋回 $1350 \times 10^6 \sim 1050 \times 10^6$ a）；d—定型期（加里东旋回 $1050 \times 10^6 \sim 400 \times 10^6$ a）；e—复活期和强化期（海西-印支旋回 $400 \times 10^6 \sim 200 \times 10^6$ a，燕山旋回 $200 \times 10^6 \sim 65 \times 10^6$ a）。

Fig. 2. Evolution and rock-controlling and ore-controlling role of Machaoying fault zone.

1—Volcanic rocks; 2—Sandstone and psephyte; 3—Dolomite; 4—Marble; 5—Mica-quartz schist; 6—Greenschist; 7—Ultrabasic rocks; 8—Magma and magmatic rocks; 9—Lower crust; 10—Upper mantle; 11—Migration direction of ore-forming materials; 12—Altered shatter zone. a—Germination stage (Zhongyue cycle $2150 \times 10^6 \sim 1850 \times 10^6$ a); b—Development stage (Xiaoxiong cycle $1850 \times 10^6 \sim 1350 \times 10^6$ a); c—Creeping stage (Relaxation stage, Lulin cycle $1350 \times 10^6 \sim 1050 \times 10^6$ a); d—Patterning stage (Caledonian cycle $1050 \times 10^6 \sim 400 \times 10^6$ a); e—Rejuvenation stage and intensification stage (Hercynian-Indosinian cycle $400 \times 10^6 \sim 200 \times 10^6$ a, Yanshanian cycle $200 \times 10^6 \sim 65 \times 10^6$ a).

太华群花岗绿岩之上产生一系列近东西向张裂隙，成为马超营断裂带的萌芽（图2a）。这些张裂隙在崤熊构造旋回（ $1850 \times 10^6 \sim 1350 \times 10^6$ a）持续俯冲过程中逐渐扩大，成为洋壳俯冲到地幔中发生分熔或同熔而形成岩浆向上运移的通道，并最终成为火山活动的中心（沿断裂带存在有老龙窝-眼窑寨喷发盆地和马超营-下庄裂隙溢流带等古火山构造）。控制着熊耳群火山岩的形成和分布（图2b、图1）。

1.2 马超营断裂带对熊耳群区域变质的控制

熊耳山南坡熊耳群火山岩的区域变质作用不太强烈,可达低绿片岩相,岩石保留了火山岩的结构和构造特征。但是在马超营断裂带内,岩石发生了较高级的变质,原岩特征基本没有保留。在温压集中的部位岩石变质可达低角闪岩相。

火山岩中杏仁体的主要变质矿物组合有:① 石英+绿泥石;② 石英+绿泥石+钠长石;③ 石英+绿帘石;④ 石英+黝帘石+绿泥石等。安山岩中斜长石斑晶依变质由弱到强表现为绢云母化→绢英岩化长石假象→绢云母条带。英安斑岩中石英斑晶在变质较强时形成平行排列的石英长条带。火山岩基质的变质矿物有绢云母、石英、碳酸盐、阳起石、绿泥石、黑云母、钠长石、绿帘石和黝帘石等。通过变质矿物组合的研究结合贺同兴等^[9]的矿物稳定范围 p - T 曲线,得出火山岩变质的温压范围分别为 400~525℃、250~500 MPa。李洁才等据变质矿物相研究,认为本区变质温度 400~500℃,压力 200~480 MPa^①,所处深度 6.3~13.5 km。

于听取自康山地区变质火山岩的 K-Ar 年龄为 12 亿年和 7~8 亿年^②,因此推断区域变质作用发生在崤熊期(1350×10⁶ a)—卢临期(1050×10⁶ a)。马超营断裂带在崤熊-卢临期的蠕动(和缓地运动、强度较弱)。为熊耳群火山岩的区域变质作用提供了部分动力(图 2c)。变质较浅,原岩特征保留较好的岩石,其矿物替代过程大致为:原岩→破裂或破碎→阳起石→钠长石→黑云母→绢云母→石英→绿泥石→绿帘石→黝帘石→绢云母→石英→方解石→粘土矿物→碳酸盐;而变质较强、原岩特征基本无保留的岩石,其矿物替代过程大致为:原岩→破碎、重结晶→绢云母+石英→石英→阳起石→绿泥石→钠长石→绢云母→绿帘石→绿泥石→石英→方解石→玉髓→碳酸盐→粘土矿物,这类岩石多在马超营断裂带内发育,空间分布呈狭长带状。

1.3 马超营断裂带对熊耳群动力变质的控制

由于马超营断裂带的作用和影响,熊耳群的动力变质作用自断裂带向北有减弱的趋势,断裂带内岩石发生强烈的构造变形,其中断裂带中心动力变质最强,而断裂带以北的熊耳群由于克拉通基底的保护和断裂带对应力的消减作用,构造变形较弱,叠加于区域变质上。

马超营断裂带的重渡-三门倒转背斜为较紧密的线形褶皱(见图 1),延伸约 38 km,波及宽度 5 km 以上;轴面产状 15°∠50°~60°;南翼为倒转翼,两翼倾向 NNE,倾角不太稳定,以 45°~65°为主,且南翼大于北翼;在褶皱两翼还往往发育次一级小型背、向斜构造,因此是一复式倒转背斜;背斜南翼的熊耳群与弧前盆地沉积呈高角度逆冲断层接触。马超营断裂带以北为开阔的韩沟-李子坪向斜,长 22 km,宽 6 km 以上;轴线基本呈 EW 向,向西翘起,向东倾伏;轴面产状 185°∠82°;两翼倾角 30°~50°,夹角 75°,为一对称开阔向斜,且两翼地层中常有次一级小型背、向斜存在。最新地层为晚元古早期栾川群。

马超营断裂带的多次运动,使熊耳群发生多次动力变质作用,并形成断裂带及其两侧的多种动力变质岩,主要有:

(1) 构造混杂岩。由经历不同程度变形和破碎的岩块和“基质胶结物”组成。岩块大小不一,性质迥异,主要为基底片麻岩岩块、熊耳群火山岩岩块、弧前盆地的官道口群大理岩

① 李洁才、武新强,1986,豫西熊耳群变质条件分析,豫西地质,第 2 期,21~25 页

② 于听,1992,南京大学地球科学系硕士论文

岩块和古生代的石英砂岩岩块等；胶结物以熊耳群火山岩为主，变形强烈。构造混杂岩沿马超营断裂带发育，宽 3~8 km，平面上各类岩块杂乱地聚集在一起，剖面上各类岩块叠瓦状交替，是伴随断裂带的中生代陆内挤压俯冲而形成。

(2) 构造角砾岩类。有张性角砾岩和压性角砾岩。前者角砾大小悬殊，棱角明显，分布杂乱，常被硅质、粉砂质和钙质胶结；后者角砾浑圆，大小较均匀，有时略呈定向排列，偶见擦痕，多被绢云母、硅质、碳酸盐和铁质胶结。构造角砾岩类分布在断裂带内或其旁侧。石窑沟、王府沟等地见片理化岩石改造成角砾岩后，部分又变为透镜体（同时有压性角砾产生）。

(3) 碎裂岩类。变质火山岩被多组裂隙、破劈理等切割，有石英、方解石等细脉沿裂隙充填，使岩石具角砾状构造。碎裂岩中有时见长石双晶弯曲并有边缘粒化，方解石具机械双晶，石英破碎、边缘粒化，但原岩性质基本不变。碎裂岩类发育于马超营断裂带及其派生断裂中。元岭等地见片理化岩石破裂后有黄铁矿浸染。断裂内或旁侧的构造透镜体向北右行排列（红庄、张村等地）。据派生断裂发育并切割向斜、地层（图 1），以及岩脉和热液活动情况，可以认为碎裂岩主要是中生代在马超营断裂带浅部构造层次及其派生次级断裂中压或压扭应力作用下形成的。

(4) 糜棱岩类。岩石强烈片理化，有重结晶作用发生和片状、片柱状矿物形成，岩石中出现压力影、鱼尾构造、变形弯曲条带、石英拉长、片理旋转、变质细脉体的石香肠化、杏仁体的压扁拉长和细颈化及石英压溶现象等。依糜棱岩化程度分为糜棱岩化火山岩、糜棱岩、超糜棱岩和千糜岩，原岩结构特征逐渐消失，片理化增强，矿物粒度变小、定向性增强。糜棱岩类发育于马超营断裂带中心部位。卢子沟口见绢云母+绿泥石+石英条带塑性褶曲，产状 $0^\circ \angle 30^\circ$ 。众多实测和路线地质剖面中糜棱面理产状 $350^\circ \sim 30^\circ \angle 14^\circ \sim 80^\circ$ 与挤压片理产状 $350^\circ \sim 20^\circ \angle 20^\circ \sim 80^\circ$ 一致。次级断裂（焦园-石窑沟断裂）中糜棱岩被改造成透镜体。糜棱岩类形成于燕山期强烈挤压背景下马超营断裂带的陆内挤压俯冲过程中。

(5) 构造片岩类。有石英绿泥片岩、绿泥绢云片岩、绿帘阳起片岩和绢云石英片岩等，常呈片状（眼球状）构造。构造片岩类主要分布于马超营断裂带两侧，片理与主断面平行。片岩或片理化岩石的形成不是一次完成的，岩石薄片中可见到线理对面理的置换，秋扒干沟见褶曲（ $20^\circ \angle 86^\circ$ ）被轴面劈理（ $10^\circ \angle 24^\circ$ ）切割。片理化岩石和片岩的全岩 K-Ar 年龄为 $407.6 \times 10^6 \sim 206 \times 10^6$ a（10 个数据）^{①②}，说明加里东期、海西-印支期马超营断裂带活动造成火山岩的多期动力变质。片理化火山岩中石英脉呈弯曲、褶皱和雁行状、北倾，与片理（ $10^\circ \angle 62^\circ$ ）一致。

另外，马超营断裂带的活动还使得其北侧的熊耳群火山岩长期隆起，遭受剥蚀。

2 马超营断裂带对官道口群和栾川群的控制

马超营断裂带以南分布官道口群滨海-浅海相碎屑岩-碳酸盐岩和栾川群陆源-浅海相碎屑岩-碳酸盐岩，它们是中元古晚期—晚元古早期的弧前盆地冒地槽堆积物。马超营断裂带是

① 河南地质科研所，1975，豫西熊耳群火山岩地质特征及铁铜矿方向初步探讨，内部资料

② 孙岩东，1993，南京大学地球科学系博士论文

中元古至晚元古早期活动大陆边缘的弧前盆地北部边界或蓟县统晚期沉降带北部边界^[1]。

崤熊构造旋回 ($1850 \times 10^6 \sim 1350 \times 10^6$ a)，随着熊耳群火山岩系的形成，马超营断裂带以南即熊耳群火山弧的南侧产生拗陷。为弧前盆地的沉积奠定基础(图 2b)；卢临构造旋回 ($1350 \times 10^6 \sim 1050 \times 10^6$ a)，弧前盆地开始接收沉积，形成了官道口群(图 2c)；加里东构造旋回 ($1050 \times 10^6 \sim 400 \times 10^6$ a)，在缩小的弧前盆地中接收栾川群沉积(图 2d)。因此马超营断裂带控制了官道口群和栾川群分布的北界，断裂以北隆起，以南拗陷，熊耳群急剧变薄。而且断裂带在加里东运动 (400×10^6 a) 时大规模复活，切穿了下盖层熊耳群和上盖层官道口群和栾川群等，控制了南北两侧地壳的构造变形和发展：断裂带南侧，构造活动强烈，形变复杂，使官道口群和栾川群及熊耳群形成一系列紧闭线形 (NWW 向) 倒转 (倾向北) 褶皱及一系列 NWW 向的逆冲断层，发育挤压片理化带和构造片岩系(图 2d、图 1)；断裂带北侧的熊耳群弱构造变形。

3 马超营断裂带对岩浆活动的控制

马超营断裂带内岩脉活动频繁。在康山地区已发现黑云母二长岩、正长岩、正长斑岩、辉长辉绿岩、碱性煌斑岩、闪长岩、闪长玢岩、花岗岩和伟晶岩等；岩脉大部分走向近东西，少数北东向；除黑云母二长岩 (NWW/NNW $\angle 60^\circ \sim 70^\circ$) 长 4 km、宽 25~30 m 外，岩脉一般规模小，延伸不超过 1 km。元岭地区有辉绿岩脉和花岗斑岩等出露。红庄地区见辉长岩脉 (NNW 向) 和歪正细晶岩脉。瑶沟地区发育有辉绿岩、辉绿玢岩、正长斑岩、闪长玢岩和煌斑岩等。这些岩脉都是断裂带活动的结果：断裂带活动导致局部温压升高，促使岩石的部分熔融进而产生重熔再生岩浆，加上洋壳俯冲到地幔分熔产生的岩浆和地幔分异产生的岩浆均可沿马超营断裂带及其派生断裂向上侵位，最终形成各种岩脉。

在马超营断裂带北侧的熊耳山中部分布有较多的中生代花岗岩、斑岩-角砾岩。花岗岩有花山花岗岩基 (200 km^2)、五丈山花岗斑岩基 (60 km^2)、金山庙花岗岩基和蒿坪花岗岩基等，均属燕山期改造系列花岗岩，其中花山岩体 Rb-Sr 等时线年龄 $(125.4 \pm 1.1) \times 10^6 \text{ a}$ ^[10]、五丈山和金山庙 K-Ar 年龄分别为 $159 \times 10^6 \text{ a}$ 和 $105 \times 10^6 \text{ a}$ ^[11]。雷门沟、祁雨沟、黄水庵、摩天岭、沙土洼、大青沟等斑岩-爆破角砾岩为多期次的成分变化较大的中酸性和酸性浅成小岩体，属燕山期同熔系列花岗岩，多数分布在花山-五丈山等岩基的北侧，其中祁雨沟地区的石英斑岩和花岗闪长斑岩 K-Ar 年龄分别为 $(114.73 \pm 1.73) \times 10^6 \text{ a}$ 和 $(112.66 \pm 1.67) \times 10^6 \text{ a}$ ^[10]。

改造系列和同熔系列的花岗岩类成因常与不同时期的构造-热事件相联系，沿着深大断裂带或其一侧发育，形成和分布与同时代的板块或板片俯冲带相对应^[1,12~15]。马超营断裂带是中生代陆内挤压俯冲带^[1~3]，在其燕山期陆内挤压俯冲过程中，由结晶基底 (太华群花岗绿岩) 和盖层 (熊耳群、官道口群和栾川群等) 组成的俯冲板片在熔融前的进变质将产生去硅、去碱、去气脱水作用，形成的流体上升对上盘地壳产生强烈改造，进而形成花山-五丈山等改造系列花岗岩；板片进一步俯冲，消减地壳产生熔融作用，形成的岩浆上侵与上部物质混合，上升定位，形成花山-五丈山岩基北侧的斑岩-角砾岩等同熔系列花岗岩 (图 2e)。

4 马超营断裂带对热液活动和成矿的控制

4.1 马超营断裂带对热液活动的控制

马超营断裂带及其派生的次级断裂是热液活动的中心。热液活动表现为广泛的、线型的热液蚀变, 主要类型有硅化、绢云母化、碳酸盐化、绿泥石化、钾长石化、(黄铁) 绢英岩化等, 呈细脉状或浸染状交代原岩, 沿构造裂隙带和破碎带分布, 空间上分布不均匀, 有时伴生有矿化。硅化常沿断裂分布, 可形成很大的硅化带, 是判别断裂构造的良好标志, 在马超营断裂带普遍发育; 在裂隙中常呈细脉状、网脉状或较大的石英脉; 硅化形成时代是多期次的。几乎每次构造热事件均有形成。钾长石化也受断裂构造控制, 其表现形式有: ① 石英-钾长石脉; ② 渗透交代强烈时形成钾长石岩; ③ 沿交叉裂隙呈团块状; 石英-钾长石脉中钾长石 K-Ar 年龄 $(313.6 \pm 3) \times 10^6$ a, 团块状钾长石则为 $(505.5 \pm 3) \times 10^6$ a, 为印支、加里东期产物, 而与成矿有关的钾长石化是燕山期形成的, 邵克忠^[10]测出矿石中蚀变矿物正长石 K-Ar 年龄 $(120.75 \pm 1.75) \times 10^6$ a。马超营断裂带中的岩脉也有不同类型、不同程度的热液蚀变现象。

4.2 马超营断裂带对成矿的控制

马超营断裂带及其北侧发育有众多的金矿、铅锌矿、银矿和钼矿等, 它们的分布具有东西成带、北东成行的规律, 这一分布规律受马超营断裂带及其派生断裂的控制 (图 3)。矿床产于马超营断裂带或其上盘岩层之中, 如康山-星星印-元岭-红庄-南坪-潭头-前河构造蚀变岩

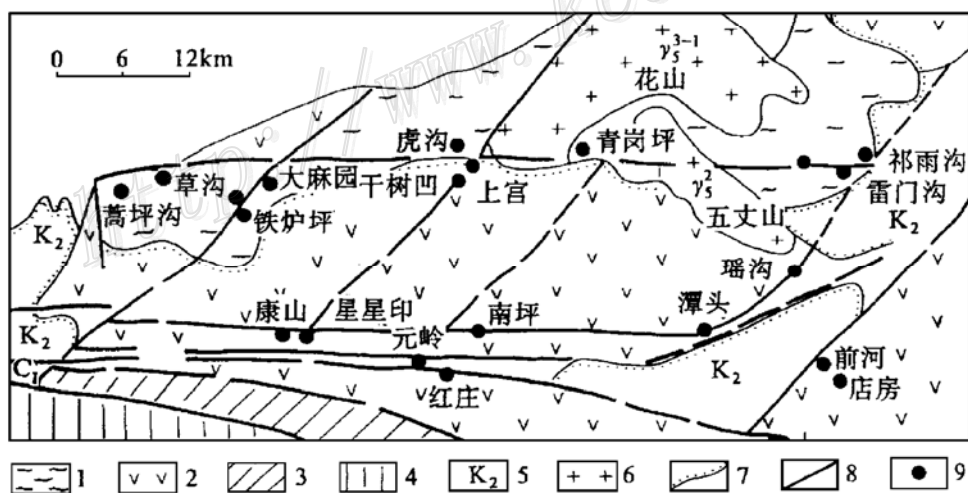


图 3 熊耳山地区被马超营断裂带及其衍生 NE—NNE 向断裂系统控制的矿床分布图

(据胡受奚等 1995 年资料)

1—早前寒武结晶基底; 2—中元古熊耳群 (Pt_1); 3—中元古晚期官道口群和晚元古早期栾川群; 4—秦岭造山带; 5—中新生代盆地; 6—中生代花岗岩; 7—不整合界线; 8—主断裂; 9—金 (银金、钼) 矿

Fig. 3. Distribution of ore deposits controlled by Machaoying fault zone and derived NE-NNE trending fault system in Xionger mountain area.

1—Early Precambrian crystalline basement; 2—Mesoproterozoic Xionger Group (Pt_1); 3—Late Mesoproterozoic Guandaokou Group and Early stage of Late Proterozoic Luanchuan Group; 4—Qinling orogenic belt; 5—Mesozoic-Cenozoic sedimentary basin; 6—Mesozoic granite; 7—Unconformity; 8—Principal fault; 9—Gold (silver-gold, molybdenum) deposit.

型金矿带和长达数 10 km 的白土铅矿带沿马超营断裂带分布，而蒿坪沟-上宫（虎沟、干树凹）-青岗坪-祁雨沟金矿带、铁炉坪（大麻园、草沟）银金矿、雷门沟斑岩型钼矿、黄水庵热液碳酸盐型钼-铅（-铀）矿和基底出露区的铅（锌）银矿带大致平行分布于马超营断裂带北侧。矿床沿地区性的 NE—NNE 向断裂成行分布，这些断裂是马超营断裂带活动过程中派生的加里东期剪切裂隙和引张裂隙扩大、加深，最后在燕山期形成的，如铁炉坪-大麻园断裂控制铁炉坪、大麻园和草沟银金矿的分布；康山-七里坪断裂控制康山、星星印、上宫、虎沟和干树凹等金矿的分布；石窑沟-焦园-青岗坪断裂控制元岭、南坪、红庄、罗叉沟和青岗坪金矿的分布；潭头-祁雨沟断裂控制潭头、瑶沟、祁雨沟金矿和雷门沟钼矿、黄水庵钼-铅（-铀）矿的分布。马超营断裂带是区域性的导矿构造：其衍生的 NE—NNE 向断裂是布矿或配矿构造，热液蚀变发育，是将沿马超营基底断裂上升的含矿热液进行分流的渠道；而上述两种断裂的交汇部位及其附近是有利的容矿或贮矿空间，控制矿床的定位。

总之，马超营深大断裂带的长期活动，造成金等成矿物质的多期次迁移和富集（图 2）。特别是燕山期陆内挤压俯冲作用，衍生出的成岩、成矿物质（侧向源）为熊耳山地区的成岩成矿提供丰富的物质来源，并控制了不同类型花岗岩体、岩带、矿床、矿带形成和分布的宏观格局。

5 马超营断裂带的控岩控矿机理的探讨

马超营断裂带在中岳运动（甚至更早）就已萌芽，这与当时的构造背景是分不开的。19 ± 1 亿年是地球发展史中一个重要转折的年龄界线，地球表面约相当于现在大陆面积 80% 的具“花岗岩”层的大陆已形成^[16,21~24]，只有这时软流层上的岩石圈才具备了发生大规模水平运动的刚性条件，大洋板块与大陆板块的作用明显表现出来，出现大洋板块向大陆板块的俯冲和相应的安山岩质火山作用^[16]。从中元古开始，华北古板块的构造运动已具有“威尔逊”旋回的特征，秦岭古大洋板块向华北古大陆板块俯冲的各种特征已十分明显。马超营断裂带的发育和熊耳群安山岩系（ $1850 \times 10^6 \sim 1400 \times 10^6$ a）以及官道口群、栾川群的形成就是处于这一构造背景之下的。

厚的大陆地壳已证明彼此能以低角度的逆冲断层相互叠加在一起^[25]。大陆岩石圈内堆叠、俯冲或消减引起的水平缩短是内硅铝层造山的一个必然机制，而且有限的内地壳俯冲是元古代带状构造形成的主要机制^[26,27]，来自大陆的沉积物有可能被深深地俯冲到消亡带中^[28]。在瑞典和挪威南部的 Dalslandian 存在这种俯冲挤压现象^[29]，而且喜马拉雅成矿带和东南亚成矿带可用 A 型俯冲作用来解释^[17]，因地壳的俯冲可由于矿物相和岩石变质相随温压条件变化使岩石发生重力调整、密度增加而成为可能^[1]。马超营断裂带的 A 型俯冲同样存在：

- ① 发育陆内挤压构造混杂岩带。栾川王练沟一带见基底岩块频频出现；康山、磨石沟、元岭等地基底岩块、熊耳群火山岩岩块、官道口群大理岩岩块杂乱聚集；康山金矿钻孔中熊耳群俯冲就位于基底地层之中。
- ② 出现一定宽度的绿片岩变质岩和特定组合的热液蚀变带。
- ③ 岩层之间多为断层接触，接触带是强片理化带。
- ④ 断裂带的组成断裂浅部向北陡倾；地球物理资料表明其深部倾角明显变缓，具有向北犁式俯冲的特征（图 4）。微观运动学标志（图 5）和前述宏观运动学标志——斜列式构造透镜体、剪切变形条带、石英雁行脉系、线理以及褶皱

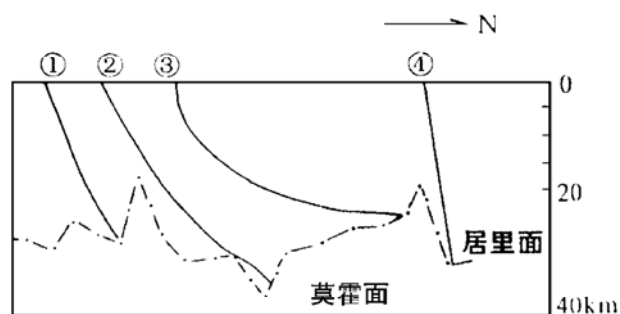


图4 地球物理剖面表明马超营断裂向北俯冲的特征

(据河南省地质矿产局资料)

①—瓦穴子断裂；②—栾川断裂；

③—马超营断裂；④—宫前断裂

Fig. 4. Geophysical section showing northward dipping of Machaoying fault.

①—Waxuezi fault; ②—Luanchuan fault;

③—Machaoying fault; ④—Gongqian fault.

初始欧亚板块与古太平洋板块强烈挤压俯冲以及北面西伯利亚板块、南面华南板块进一步挤压俯冲(A型)的远距离效应所构造的两大构造应力场和构造环境中^[1]。由于距古太平洋俯冲带远和郯庐超岩石圈断裂、大兴安岭-太行山-武陵山深断裂的缓冲,华北地台南缘的马超营断裂带主要受南北向挤压的影响,演变为向北俯冲的A型俯冲带,这一过程的动力主要就由南北挤压应力提供。

马超营断裂带的燕山期陆内挤压(A型)俯冲具有重要的控岩控矿作用。A型俯冲过程中,俯冲板片离开原来位置逐步进入深部高温高压环境,大量含水矿物脱水,形成更高级的变质岩并释放出大量变质水热流体。地温梯度用造山带的 $5.2^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ ^[19];据变质脱水反应 $T-p$ 曲线^[9],在小于 300°C 条件下,主要是方沸石、浊沸石等矿物脱水, $300\sim 650^{\circ}\text{C}$,主要是高岭石、叶蜡石、硬柱石、葡萄石、绿泥石、绿帘石、十字石和白云母等矿物脱水, $650\sim 800^{\circ}\text{C}$,主要是直闪石、黑云母和白云母等矿物脱水。这样,板片下插俯冲,矿物依次脱水,相应的变质相由沸石相 $\rightarrow$ 葡萄石-绿纤石相 $\rightarrow$ 绿片岩相 $\rightarrow$ 角闪岩相转变。变质脱水反应释放的变质热液含 K^{+} 、 Na^{+} 、 Si^{4+} 及多种挥发分,伴随成矿元素一起向上运移,可在马超营断裂带及其附近有利部位成矿。俯冲板片继续下插,因温压继续升高,去气、去硅、去碱作用加剧。实验证明长英质岩石在水汽饱和时的最低重熔温度为 640°C ^[9],陆壳下部基底岩石在 $10\sim 20\text{km}$ 处受热达 650°C 以上时开始局部熔融并逐渐达重熔程度^[20],加上白云母、黑云母和直闪石等先后脱水分解($12\sim 15\text{km}$)形成的流体进入上覆陆壳,引起上覆陆壳的选择重熔和局部熔融而形成岩浆及岩浆热液。岩浆热液和变质热液向上运移、岩浆向上侵位可分别形成矿床和改造系列花岗岩,它们就位于俯冲带的上盘(北侧)。当俯冲板片进一步下插时,与深部物质发生同熔或分熔作用,所形成的高温分熔岩浆上侵,大量同化、混染上盘板片物质(包括成矿物质),形成更为远离俯冲带的同熔型花岗岩及其有关矿床。因此马超营断裂带控制了矿床和花岗岩的形成和分布。

等指示断裂带上盘(北盘)板片从北向南逆冲推覆,并有左旋走滑的特点。⑤沿断裂带有中生代晚期(白垩纪)至新生代的红盆地发育,如潭头盆地(图1),沉积具造山带特征的山间磨拉石建造。⑥断裂带为豫西一级磁场区分界线,以带状正异常为特征;航磁异常表现为尖锐、急剧跳跃的锯齿状正异常;重力场特征为重力梯级带^[18]。⑦控制了中生代花岗岩和有关矿床的分布,使其均集中在断裂带的北侧(上盘)。

马超营断裂带的活动是在南北向强大的挤压应力条件下产生的。由于印度洋洋中脊推动印度板块向北偏东方向移动,并发生碰撞和挤压,继而又推动西南古板块进一步向北挤压^[1],对华北地台南缘而言,南北向挤压长期存在,中生代以来尤为明显。中生代,华北地台内部处于

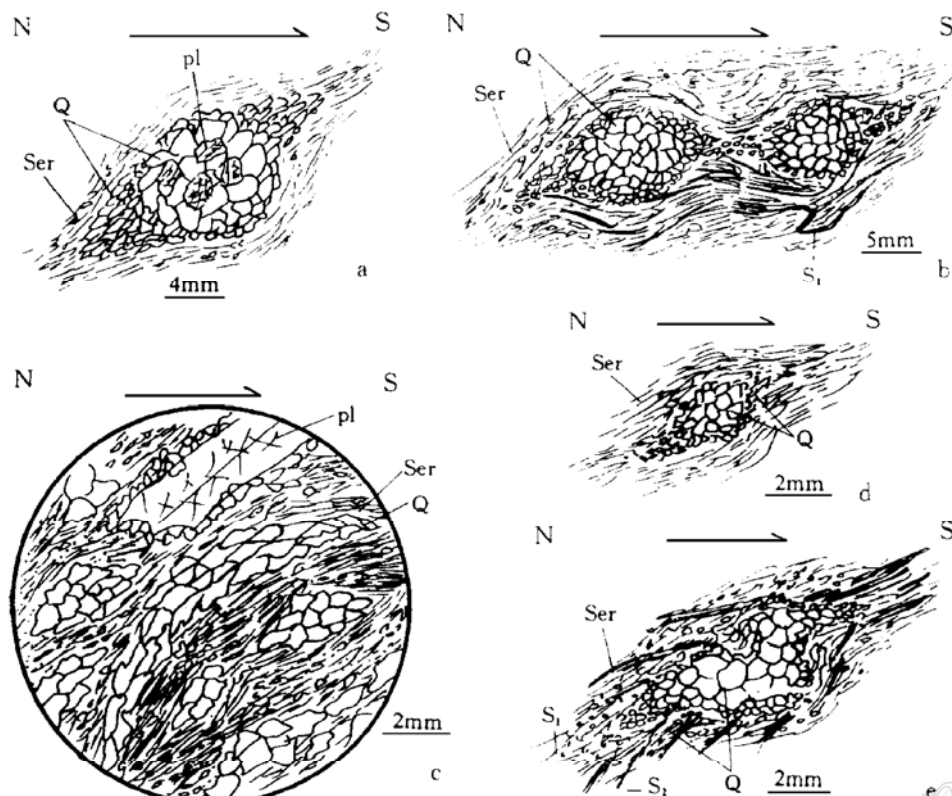


图 5 马超营断裂带燕山期 A 型俯冲的微观运动学标志

a—杏仁体的压力影（狮子庙）；b—杏仁体压扁和细颈化，并有压力影，片理柔皱状（元岭）；c—石英集合体条带弯曲或呈眼球状（马超营）；d—石英集合体压扁，呈 S 形，伴压力影（黄岗）；e—石英集合体压力影，片理置换（红庄）。Ser—绢云母；Q—石英；Pl—长石；S₁ 或 S₂—片理

Fig. 5. Micro-kinematic indicators of Yanshanian Type-A subduction of Machaoyin fault zone.

a—Pressure shadow of amygdaloid (Shizimiao); b—Flaser, necking and pressure shadow of amygdaloid, and crenulation of schistosity (Yuanlin); c—Buckle or augen of quartz aggregate stripe (Machaoyin); d—Flaser of quartz aggregate, assuming S shape, in company with pressure shadow (Huanggang); e—Pressure shadow of quartz aggregate, schistosity replacement (Hongzhuang). Ser-Sericite; Q-Quartz; Pl-Feldspar; S₁ or S₂-Schistosity.

参 考 文 献

- 1 胡受奚, 林潜龙. 华北与华南古板块拼合带地质和成矿. 南京: 南京大学出版社, 1988, 1~558
- 2 胡志宏, 胡受奚. 东秦岭燕山期大陆内部挤压俯冲和构造模式及其证据. 南京大学学报, 1990, 26 (3): 489~498
- 3 陈衍景, 富士谷. 豫西金矿成矿规律. 北京: 地震出版社, 1992, 1~234
- 4 贾承造. 熊耳群火山岩系岩石地球化学特征及其大地构造意义. 河南地质, 1985, 3 (2): 39~43
- 5 贾承造, 施央申, 郭令智. 东秦岭板块构造. 南京: 南京大学出版社, 1988, 1~119
- 6 喻积贤, 王铭生, 杨建朝等. 豫西熊耳群划分与对比. 河南地质, 1985, 3 (4): 55~63
- 7 阎中英. 熊耳群火山岩系岩石化学特征. 河南地质, 1985, 3 (2): 44~48
- 8 李春昱, 刘仰文, 朱宝清等. 秦岭及祁连山构造发展史. 见: 国家地质总局书刊编辑室编. 国际交流地质学术论文集 (一). 北京: 地质出版社, 1978, 174~187
- 9 贺同兴, 卢良兆, 李树勋等. 变质岩岩石学. 北京: 地质出版社, 1980, 49~58
- 10 邵克忠, 王宝德, 吴新国等. 祁雨沟地区爆发角砾岩型金矿成矿地质条件及找矿方向研究. 河北地质学院学报, 1994,

15 (2): 105~194

- 11 河南省地质矿产局. 河南省区域地质志. 北京: 地质出版社, 1989
- 12 胡受奚, 郭继春. 东秦岭与华南加里东褶皱带原地-准原地改造型花岗岩特征. 岩石学报, 1989, 5 (1): 49~58
- 13 胡志宏, 胡受奚, 周顺之. 东秦岭燕山期大陆内部挤压-俯冲背景的 A-型孪生花岗岩带. 岩石学报, 1990, 6 (1): 1~12
- 14 胡受奚, 胡志宏, 郭继春等. 中国东部花岗岩类的成岩成矿及其构造环境的关系. 矿床地质, 1991, (2): 97~106
- 15 胡受奚, 赵乙英, 胡志宏等. 中国东部中—新生代大陆边缘构造岩浆作用演化和发展. 岩石学报, 1994, 10 (4): 370~381
- 16 特拉切夫 A Ф. 前寒武纪绿岩带是裂谷带还是岛弧. 林彻译. 国外地质科技, 1981, (4): 95~109
- 17 米切尔 A H G. 地槽学说和板块构造学: 喜马拉雅造山带晚期含锡花岗岩和大陆碰撞的意义. 刘瑞珊译. 国外地质科技, 1981, (4): 13~26
- 18 郭奇斌. 从地球物理场特征谈河南地质构造. 河南地质, 1992, 10 (4): 264~272
- 19 成都地质学院. 动力地质学原理. 北京: 地质出版社, 1978, 187~190
- 20 南京大学地质系. 火成岩岩石学. 北京: 地质出版社, 1980, 253~256
- 21 Hamilton P J, Evensen N M, O'Nions R K. Sm-Nd systematics of Lewisian gneisses: implications for the origin of granulites. *Nature*, 1979, 277: 25~28
- 22 Hamilton P J, O'Nions R K, Bridgwater D, Nutman A. Sm-Nd studies of Archaean metasediments and metavolcanics from west Greenland and their implication for the earth's history. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 1983, 62 (2): 263~272
- 23 Hamilton W. Crustal evolution by arc magmatism. *Phil. Trans. R. Soc. Lond.*, 1981, 301: 279~291
- 24 Hart S R, Brooks C, Krogh T E, Daris G L, Nara D. Ancient and modern volcanic rocks: a trace element model. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 1970, 10 (1): 17~28
- 25 Zeck H P, Mallin S. A major global suture in the Precambrian basement of S. W. Sweden. *Tectonophysics*, 1976, 31 (1~2): 35~40
- 26 Kröner A. Precambrian plate tectonics. Amsterdam: Elsevier, 1981, 57~90
- 27 Kröner A. Archaean to early Proterozoic tectonics and crustal evolution: A review. *Rev. Brasil. Geoscience.*, 1983, 12: 15~31
- 28 Dickinson W R. Plate tectonics through geologic action. *Phil. Trans. R. Soc. Lond.*, 1981, 301: 207~215
- 29 Windley B F. Tectonic evolution of continents in the Precambrian. *Episodes*, 1979, 4: 12~16

A STUDY OF ROCK-CONTROLLING AND ORE-CONTROLLING ROLE OF THE MACHAOYING FAULT IN WESTERN HENAN

Liu Hongying, Hu Shouxi and Zhou Shunzhi

(*Department of Earth Sciences, Nanjing University, Nanjing 210093*)

Key words: Machaoying fault zone, rock-controlling and ore-controlling role, Henan

Abstract

The Machaoying fault zone is the largest NWW-trending regional deep fault on the southern slope of Xionger Mountain. Formed during the Zhongyueian cycle, it was long active and eventually turned into a large intracontinental compressional (Type A) subduction zone in Mesozoic. It played an important controlling role in rock-forming and ore-forming activity of Xionger Mountain area.

In the course of the subduction of Qinling paleoceanic plate to northern North China paleocontinental plate in Middle Proterozoic, the fault zone became a passage where the magma formed by syntaxis of oceanic crust subducted into the mantle migrated upward and finally grew to be the center of the volcanic activity. The fault zone controlled the regional metamorphism and dynamic metamorphism of Xionger Group within it and on its southern and northern sides. There are tight linear folds, greenschists and various dynamic metamorphic rocks within the zone. The fault zone, as the boundary between the Middle Proterozoic arc and the forearc basin, was located in the transitional belt between the uplift and the depression, controlled the northern boundary of Guandaokou Group and Luanchuan Group, and caused the formation of a series of tight linear NWW-trending, northward dipping overturned folds and NWW-striking thrust faults.

Within the fault zone were formed multiperiodic and multi-type dikes and hydrothermal alterations. The rock-forming and ore-forming substances derived from the Yanshanian northward Type A subduction, in particular, provided sufficient materials for the formation of different types of granite bodies, rock belts as well as related ore deposits and ore belts, and controlled their spatial distribution. In the study area, all this finds expression in the proximal→distal distribution of transformation series granites such as Huashan-Wuzhangshan plutons and syntaxis series granites such as porphyry-breccias on the hanging wall or the northern side of the fault zone. The role of the fault zone and its derivative NE-trending faults as the passageway of ore materials and in the distribution and storage of ores caused the spreading of ore deposits in zones in east-west direction and in rows in northeast direction.