

脆-韧性剪切带控矿的初步探讨—— 对金川铜镍矿控岩控矿构造的新见解

孙桂玉

(北京大学地质系)

内容提要: 本文从构造层次的概念探讨了金川铜镍矿的控岩控矿构造, 提出了一些与以往研究结果不同的看法。作者对于该矿岩体、矿体形态与分布规律、构造岩、小构造与显微构造等的研究表明, 金川矿的超基性岩体与矿体从形态上不是岩墙状, 而是由透镜体组成的雁列脉; 控岩控矿构造不是龙首山北缘深断裂 F_1 派生的入字型构造, 而是受该断裂早期演化阶段的脆-韧性剪切带所控制。文中同时探讨了该脆-韧性剪切带的特征。

关键词: 控岩控矿构造 雁列脉 脆-韧性剪切带

金川铜镍矿(原称白家咀子铜镍矿)是我国的大型镍基地。该矿构造上属北西向的龙首山隆起东段。硫化铜镍矿赋存于平均成分为二辉橄榄岩的超基性岩体中。

过去对该矿成矿构造的研究认为, 含矿岩体为岩墙状, 是龙首山北缘深大断裂(F_1)派生的“人字型”构造, 后期被三条近东西向的平移断层切割, 划分成目前的四个矿区(I、II、III和IV)。

近年随着构造地质学研究的深入, 提出了一些新的论点, 例如马托埃的地壳理想剖面^[1]、舍尔曼关于深大断裂的垂深剖面^[2]、Sibson关于断层双层模式^[3]以及Ramsay等的剪切带理论^[4]等, 均阐述了构造层次的概念。这一概念指出, 岩石自地表向深部, 由于物理条件的变化, 在受力时变形方式和变形机理有显著的不同; 处于浅部的岩石表现为脆性变形, 随着深度的增加, 温度、压力增大, 岩石逐渐变为韧性变形, 最后为粘性。Ramsay则明确提出了剪切带有脆性、脆-韧性和韧性三种类型(图1)。

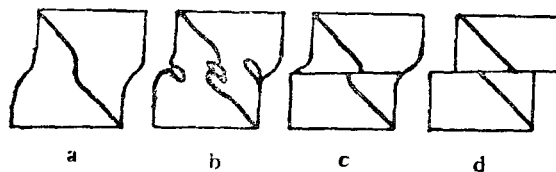


图1 剪切带的基本类型(据Ramsay, 1980)

a—脆性; b、c—脆-韧性; d—韧性

Fig. 1. Basic types of shear zones.

a—Brittle; b, c—Brittle-ductile; d—Ductile.

本文作者根据上述理论对金川铜镍矿成矿构造进行了观察研究, 并得出了新的看法。根据矿区内超基性岩体及其中矿体的形态特征、排列方式以及矿区内存在的糜棱岩和小构造、显微构造特征等, 可认为龙首山北缘深大断裂早期曾经历韧性和脆-韧性变形过程, 而它作为脆-韧性剪切带, 控制了金川铜镍矿的成岩成矿作用。

一、岩体和矿体的形态特征和分布规律

1. 矿区地质概况 金川矿区出露地层主要为前震旦系龙首山群的中深变质岩系，以混合岩、黑云斜长片麻岩、蛇纹石化大理岩、大理岩为主。岩浆岩分布较广，主要有碎裂花岗岩、超基性岩以及辉绿岩、煌斑岩、花岗闪长斑岩、细晶岩等脉岩。

矿区断裂构造发育，主要有 F_1 、 F_{16} 、 F_5 、 F_{16-1} 、 F_8 、 F_{17} 、 F_{23} 等（图2）。过去认为 F_8 、 F_{16-1} 和隐伏的 F_{23} 等左行平移断层将超基性岩墙分割成四段，即为四个矿区，目前正在开采的是 I、II 矿区。

F_1 断裂为龙首山北缘的深大断裂（又称潮南大断裂）是成岩成矿的主导断裂，长 170km，产状为 $290^\circ-300^\circ/SW \angle 50^\circ-70^\circ$ 。龙首山南侧有宁远堡断裂，产状为 $300^\circ-315^\circ/NE \angle 70^\circ-85^\circ$ 。据区域地质资料，上述深大断裂产生于元古代晚期，均有长期活动的历史，并使龙首山呈一楔形断块，强烈上升。笔者认为， F_{16} 、 F_5 等断层，其产状与力学性质均与 F_1 相同，实际上是龙首山北缘同一深断裂带中的不同断层面。

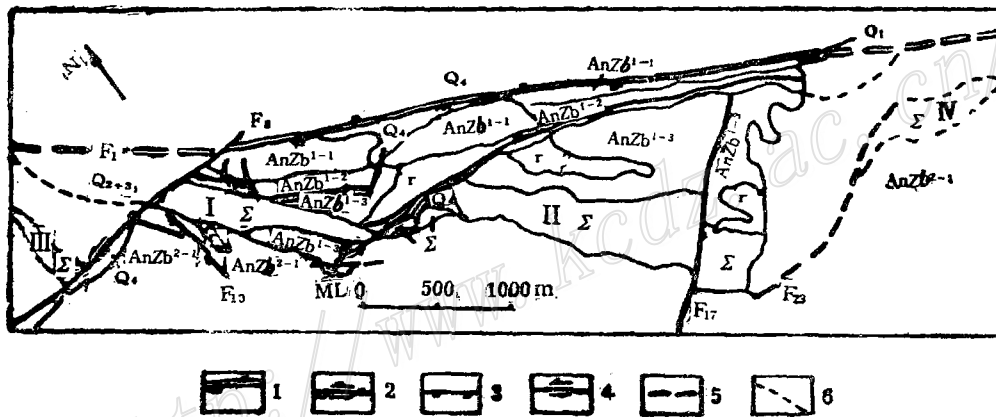


图2 矿区地质略图

（据甘肃地质六队）

Q_1 —全新世冲积坡积层； Q_{2+3} —中上更新世洪积坡积层； Q_1 —下更新世砂岩、砂砾岩； $AnZb^{1-1}$ —白家咀子组二段条痕-均质混合岩， $AnZb^{1-3}$ —白家咀子组第一段蛇纹石化大理岩； $AnZb^{1-2}$ —白家咀子组第一段黑云斜长片麻岩； $AnZb^{1-1}$ —白家咀子组第一段角砾-均质混合岩； Σ —超基性岩； γ —碎裂花岗岩；ML—大理岩；I、II、III、IV—四个矿区的符号；1—区域性深大断裂（逆断层）；2—逆-平移断层；3—平移—正断层；4—平移断层；5—推测断层；6—推测地质界线

Fig. 2. Schematic geological map of the ore district.

Q_1 —Holocene alluvial-slope bed; Q_{2+3} —Middle-Upper Pleistocene diluvial-slope bed; Q_1 —Lower Pleistocene sandstone and sandy conglomerate; $AnZb^{2-1}$ —Striped-homogenic migmatite of 2nd Member of Baijiazuizi Formation; $AnZb^{1-3}$ —Serpentinized marble of 1st Member of Baijiazuizi Formation; $AnZb^{1-2}$ —Biotite-plagioclase gneiss of 1st Member of Baijiazuizi Formation; $AnZb^{1-1}$ —Brecciated-homogenic migmatite of 1st Member of Baijiazuizi Formation; Σ —Ultrabasic rock; γ —Cataclastic granite; ML—Marble; I, II, III, IV—Ore districts; 1—Regional deep fault(reverse fault); 2—Reverse strike-slip fault; 3—Strike-slip normal fault; 4—Strike-slip fault; 5—Inferred fault; 6—Inferred geologic boundary.

2. 岩体与矿体形态特征及分布规律 金川铜镍矿为大型岩浆熔离型矿床，也见有少量接触交代型。目前已探明的三百余个矿体主要分布于二辉橄榄岩、含辉橄榄岩和纯橄榄岩中，少数矿体产生在岩体附近的围岩内。

超基性岩体在平面上呈雁列状排列。单个岩体则为反S形的透镜状，长轴方向为 310° — 330° 。其中西北部的一个被晚期断裂 F_8 所切，分为Ⅲ矿区和Ⅰ矿区。Ⅱ矿区在基岩地质图上似乎为一个岩体，但在深部却很清楚地看出为单独的两个岩体。由于它们相邻，首尾部分相连，同时，在岩相上均为二辉橄榄岩，因而不易划分开，所以在近地表处被误认为一个，向下透镜体水平断面缩小即划分开了，如Ⅱ矿1250水平断面图(图3)，从图上可看到两个岩体，其中东侧的一个被正断层 F_{17} 错开，其东南盘下降，故在同一平面内岩体变宽。

从图2上还可见到超基性岩体的两端均有透镜体的完整的端部，岩体的岩相和矿体的矿石相也随岩体、矿体形态而呈圈闭状，并没有被断层断开的对应关系。因此划分Ⅰ、Ⅱ矿区的断裂 F_{16-1} 以及划分Ⅱ、Ⅳ矿区的 F_{23} 实际上并不存在，而且从钻孔资料以及剖面上看，也未见破碎带。

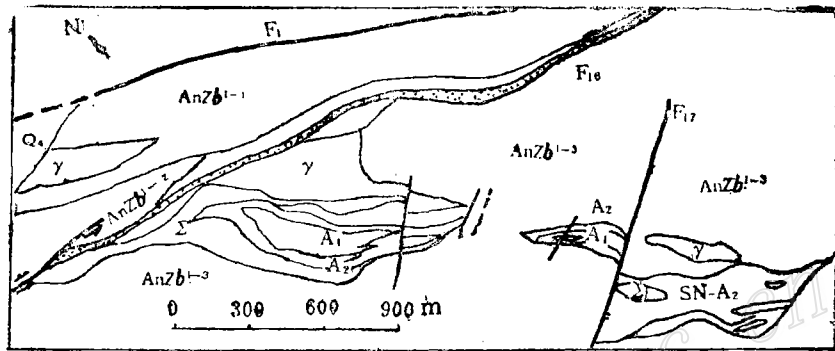


图3 Ⅱ矿区1250水平断面图(据金川Ⅱ矿地测科修改)

SN-A₁—铜镍富矿石; A₂(SN-A₂)—铜镍贫矿石; 其余同图2

Fig.3. Horizontal section of 1250 level of No. II ore district.

A₁—Rich copper-nickel ore; A₂ (SN-A₂) —Poor copper-nickel ore; other symbols as for Fig. 2.

剖面上超基性岩体与矿体的形态也为透镜状，或透镜体上部被剥蚀后残留的“歪漏斗”状，如图4，图5。从图上可见，透镜体呈反S形。

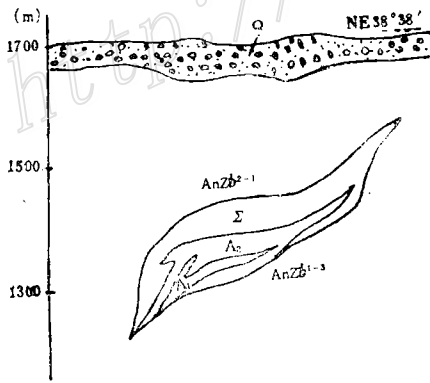


图4 Ⅱ矿区56行剖面图

(以下剖面均引自金川公司地质资料)

图例同图2

Fig. 4. Sketch section of No. II ore district along

No. 56 line.

Symbols as for Fig. 2.

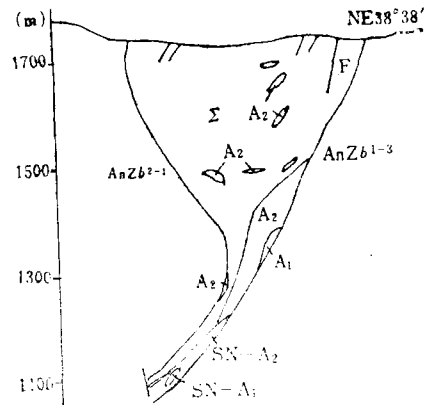


图5 Ⅱ矿区30行剖面图

图例同图2

Fig. 5. Sketch section of No. II ore district along No. 30 line.

Symbols as for Fig. 2.

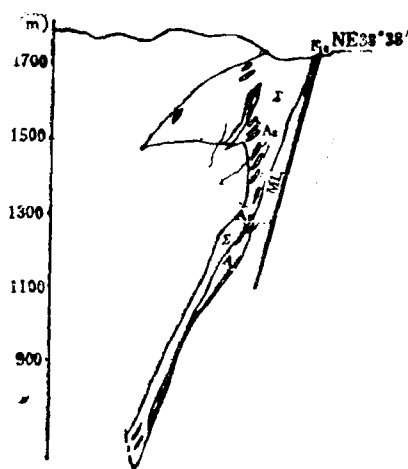


图6 I矿区2行剖面图

图例同2

Fig. 6. Sketch section of No. I ore district

along No. 2 line.

Symbols as for Fig. 2.

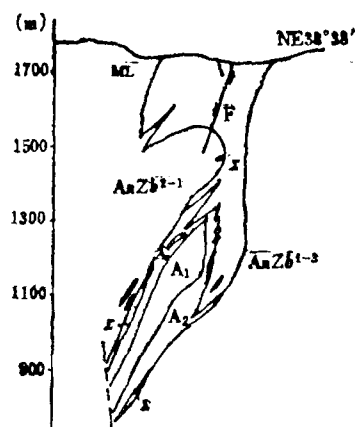


图7 II矿区22行剖面图

图例同2

Fig. 7. Sketch section of No. II ore district

along No. 22 line.

Symbols as for Fig. 2.

当相邻两个透镜体首尾相重叠时，剖面上则表现为分叉状，如I、II矿区分界处的剖面。图6、7中南西侧的透镜体上半部已遭剥蚀，而深部的透镜体尾部尚未被钻孔揭露。IV矿6行剖面表示完整的透镜体相邻的情况（图8）。

上述岩体和矿体的形态特征，在金川矿区的I、II、III、IV各矿区的平、剖面中均十分明显，从其排列方式和反S形判断，它们是受右行平移兼逆冲的脆-韧性剪切带的控制而形成。

超基性岩体和矿体的规模以及透镜体的长短轴比率，表示在图9。这是以金川II矿区为例的统计数据。从中可见到。岩体长轴最长可达1400m，宽230—250m；矿体最长可达1100m，一般为数百米，宽数十米至百余米不等。透镜体的长短轴比变化在4.55—6.25之间。据此，可从剖面上大致分析出岩体或矿体被剥蚀部分的长度。

值得指出的是，岩体或矿体在平、剖面上均为透镜状、故在不同区段或不同深度上大小不等，这对于矿产储量的评价和矿产开采工程的布置有十分重要的意义。另外，深部也可能埋藏有未被揭露的矿体。

3. 超基性岩岩相和矿体矿石相分布 金川矿区超基性岩体按橄榄石和辉石的含量划分为纯橄榄岩 (Σ_1)、含辉橄榄岩 (Σ_2)、二辉橄榄岩 (Σ_3)、橄榄辉石岩 (Σ_4) 和辉石岩 (Σ_5)。此外，还分出含长含辉橄榄岩 (Σ_6)、含长二辉橄榄岩 (Σ_7)，在边缘相还划分出蛇纹石化、绿泥石化、透闪石化、滑石化片岩 (Σ_8)。

上述岩相均以透镜体形态呈封闭形分布于超基性岩体之中，并且越靠近中心部位基性越强。有些平面或剖面图中，岩体内呈现两个或两个以上的“强基性”中心，这往往是由于两相邻岩体外围相同岩相未区分开所致。超基性岩按橄榄石颗粒大小又划为不同的粒度相：中细粒相 (0.252—5.1mm) 平均粒径1.405mm，中粒相 (0.47—5.2mm) 平均粒径1.686mm，

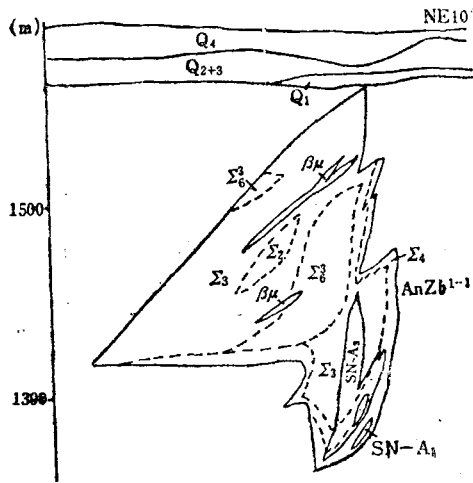


图 8 IV矿区 6 行剖面图

Σ₂—含辉橄榄岩; Σ₃—二辉橄榄岩; Σ₄—橄榄辉石岩;
Σ₆³—含长二辉橄榄岩; βμ—辉绿岩; 其余同图 2、3

Fig. 8. Sketch section of No. IV ore district along No. 6 line.

Σ₂—Pyroxene-bearing peridotite; Σ₃—
Lherzolite; Σ₄—Olivine pyroxenite;
Σ₆³—Feldspar-bearing lherzolite; βμ
—Diabase.

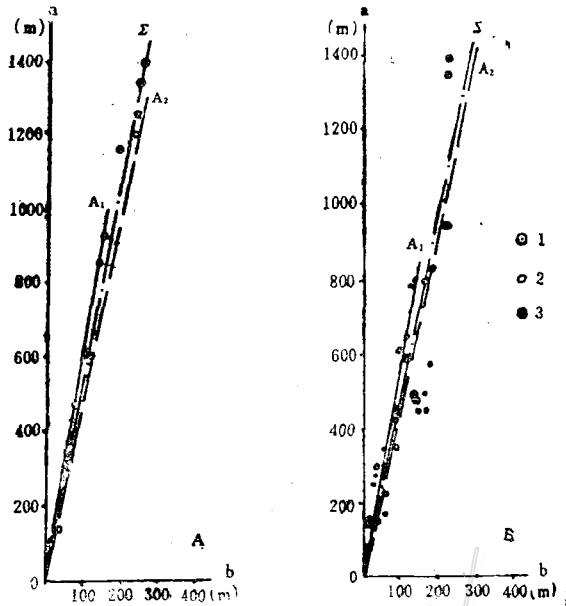


图 9 超基性岩体和矿体长轴与短轴比 (A为平面资料; B为剖面资料)

1—超基性岩体; 2—贫矿(A₂); 3—富矿(A₁);
Σ—超基性岩体; a, b—分别为岩体或矿体的长轴与短轴

Fig. 9 Ratios between major axes and minor axes of ultrabasic bodies and orebodies (A, Plane data; B, Section data)

1—Ultrabasic body; 2—Poor ore (A₂); 3—Rich ore (A₁); Σ—Ultrabasic body; a, b—major axis and minor axis of rock body or orebody respectively.

中粗粒相(0.51—6.3mm)平均粒径2.593mm。上述不同粒度相之间界线明显。在岩体中还多处见到由橄榄石或由辉石集中成条带的条带状超基性岩。它们均反映岩浆侵入和分异,也服从于统一的构造动力条件,即由脆-韧性剪切带所控制的雁行状排列的启张空间。

金川矿数百个硫化铜镍矿体按金属镍的百分含量分为特富矿、富矿和贫矿等,其中绝大部分也呈透镜状或反S形透镜状雁列分布于超基性岩体的中下部或岩体上、下盘邻近的围岩之中,并且从边部向中心含矿性增强。

综合矿区岩体、矿体形态特征及其岩相、矿石相的分布规律可以认为,成岩成矿处于相同的构造地质环境,并且经历了相当长的一段时间,持续的递进变形使透镜体均呈反S形。

二、岩体围岩韧性变形特征分析

1. 矿区内存在的糜棱岩及其特征 前面已经提到,龙首山北缘深大断裂早期经历过韧性变形和脆-韧性变形阶段,本文将重点讨论后者。当地质体处于脆-韧性状态并且受力发生

剪切时，除形成雁列的张裂隙、张剪性裂隙外，裂隙之外的岩石则遭受塑性变形，同时发生变质作用，从而在宏观与微观上发生明显变化，并形成特殊的构造岩类——糜棱岩。金川矿区超基性岩体（它们占据了裂隙空间）的围岩中即发现了糜棱岩。涉及到的糜棱岩的原岩有：片麻岩、混合岩、大理岩、碎裂花岗岩以及白岗岩等等。

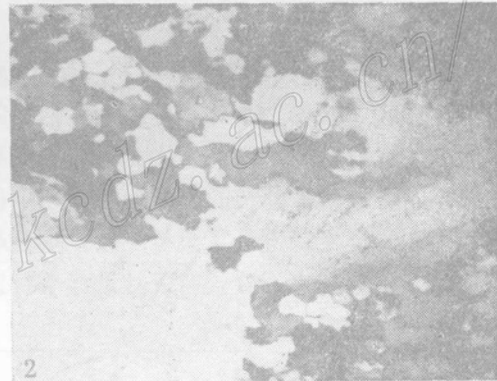
矿区出露的糜棱岩和初糜棱岩，在光学显微镜下普遍具有波状消光、变形纹和机械双晶等现象，尤其是还具有典型的核幔构造。照片1为原岩是片麻岩形成的花岗质初糜棱岩（采于Ⅱ矿区办公楼南）。照片2为Ⅱ矿区西风井附近碎裂花岗岩形成的糜棱岩，正交偏光下见到动态重结晶形成的亚颗粒。此外，在岩体下盘还见到条纹状大理岩的糜棱岩（Ⅱ矿区30行附近）。龙首矿西11行附近原岩为白岗岩形成的糜棱岩中，可见到石英流动、拉长，长石碎裂、压扁最终形成非对称形的眼球状构造。在花岗质初糜棱岩中还见到云母鱼构造（照片3），是由云母解理扭折形成。

在超基性岩体边部局部地段见到非对称眼球状的橄榄石颗粒，说明岩体侵入并成岩后剪切作用仍在持续进行。但橄榄岩中的橄榄石多数未变形，变形仅限于边部早期侵入部分。

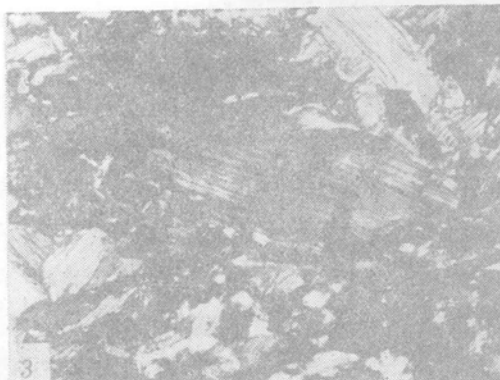
这种剪切带内的矿物组合和化学成分均发生变化，主要反映退变质作用过程。矿区内存



照片1 花岗质初糜棱岩，具波状消光 正交偏光 4×10



照片2 具缝合线状晶界的糜棱岩，原岩为碎裂花岗岩 正交偏光 4×5



照片3 花岗质初糜棱岩中的云母鱼构造 正交偏光 4×5



照片4 由石英岩和角闪片岩组成的鞘褶曲（横截面）

在的绿泥石片岩、石英云母片岩等均应视为这种作用的产物。此外，较多的石英脉，其优势方位有 $295^{\circ}-300^{\circ}/SW\angle 60^{\circ}$ ，也应视为这种退变质作用过程中脱硅过程的产物。同时，糜棱岩中矿物颗粒也均见减小。

糜棱岩中面理与线理十分发育。对矿区各类岩石中的面理与线理所作的测量与统计分析，将在下面专门论述。

2. 鞘褶曲及其他小构造分析 剪切带一般还发育有特征性的构造，鞘褶曲就是其中的一种。这种褶曲外形酷似刀鞘，是岩石韧性变形的产物之一^[4]。金川矿区片麻岩及混合岩中均发育有典型的鞘褶曲。例如在Ⅱ矿区超基性岩体上盘混合岩中，观察到由数层石英岩和角闪片岩组成的鞘褶曲。在横截面(YZ面)呈半封闭形，因其上半部已被剥蚀(照片4)，水平面上呈舌形。枢纽长轴方向 304° ，近水平。鞘褶曲中的石英岩，在偏光显微镜下定为石英糜棱岩。在Ⅱ矿区泄洪洞南口岩体上盘混合花岗片麻岩中见到的鞘褶曲形态完整(YZ面)，并且其长轴方向与龙首矿西5行和西11行附近岩体下盘发育在片麻岩中的许多线理有着近一致的方向，其优势方位值为 $130^{\circ}-140^{\circ}\angle 30^{\circ}-40^{\circ}$ 。

除鞘褶曲外，在片麻岩中见到许多相似小褶曲，其轴面产状常平行于剪切带内派生的小剪切带，后者有的宽度仅数厘米。在混合岩中可见到长英质细脉沿剪切带内最大应变轴被拉断而形成的石香肠。

3. 面理和线理的统计分析 岩体的围岩内存在大量面理和线理。面理主要为片麻理(存在于片麻岩、混合岩中)和片理(包括角闪片岩、绿泥石片岩、石英云母片岩以及超基性岩体周围的蛇纹石化、绿泥石化、透闪石化和滑石化的构造片岩中的片理)。线理包括矿物拉长线理、各种形态复杂的褶曲枢纽，其中也包括鞘褶曲，以及石英棒状构造等。在野外对上述面理和线理产状进行了大量测量，垂直超基性岩体走向共测了六个剖面。对测量结果进行了统计分析。其中部分资料统计见赤平投影图(图10)。统计结果见表1。

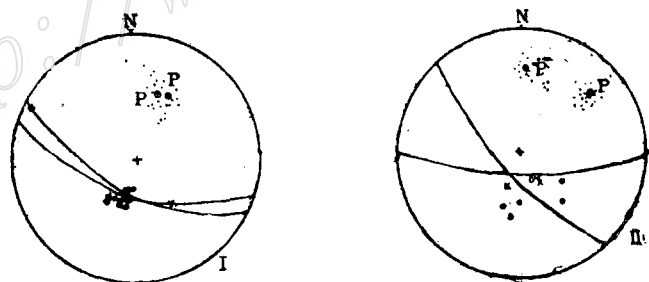


图 10 部分面理和线理的赤平投影(吴氏网)

I—Ⅱ矿区泄洪洞北、南口测量资料；II—龙首矿区招待所后山测量资料；P为面理极点；o为矿物拉长线理；x为褶曲枢纽

Fig.10. Stereographic projections of some foliations and lineations (Wulff net).

I—Measured data from No. 2 ore district; II—Measured data from Longshou ore district; P—Pole of foliation; o—Elongated lineation of mineral; x—Hinge of fold.

面理与线理的测量资料统计表明，一组面理产状的优势方位为 $290^{\circ}-305^{\circ}/SW\angle 50^{\circ}-60^{\circ}$ ，与龙首山北缘深断裂F₁产状一致，是矿区内最为发育的一组面状构造，它们与超基性岩体雁列脉的串联面相平行，可以代表剪切带的糜棱岩面理(S_c)，其上线理发育，包括许多鞘褶曲长轴。剪切带内的剪切带面理(S_s)多数表现为岩体周围构造片岩的片理，大理

表1 面理和线理的统计结果①

Table 1. Statistics of foliation and lineations

剖面编号	测量剖面	测区范围或距超基性岩体的距离(m)	面理优势方位			线理优势方位		
			片麻理	片理	Σ_s ②片理	矿物拉长线理	褶曲枢纽	石英棒状构造
I	东30行	自岩体南界向东南至100m	294/SW \angle 54	256/SW \angle 47	280/SW \angle 54			
	东30行	自岩体北界至二矿办公楼	306/SW \angle 60 310/SW \angle 47	307/SW \angle 47 270/S \angle 47			134 \angle 12 155 \angle 38	
II	东3行	泄洪洞南口以南	299/SW \angle 63	272/SW \angle 55	294/SW \angle 54 270/S \angle 66		140 \angle 40 (鞘)	320 \angle 14
	东3行	泄洪洞北口至毛桥	292/SW \angle 56	273/SW \angle 55 270/S \angle 78		203 \angle 55	200 \angle 59 (鞘)	
III	西2行	龙首矿卷扬机房东山梁	304/SW \angle 64 280/SW \angle 70		310/SW \angle 43	95 \angle 29	95 \angle 30	
IV	西5行	龙首矿招待所后山	319/SW \angle 74	272/SW \angle 70		200 \angle 40 140 \angle 34	149 \angle 62	
V	西11—12行	距岩体北界140—150	302/SW \angle 62	277/SW \angle 43		134 \angle 70 195 \angle 9	292 \angle 49 (鞘)	
	西11—12行	距岩体北界190—200	300/SW \angle 70	270/S \angle 43				
	西11—12行	距岩体北界400	305/SW \angle 69					
VI	西16行	距岩体南界20—50		310/SW \angle 74 275/SW \angle 54				
	西16行	距岩体北界20—60		287/SW \angle 79				

① 用赤平投影方法(吴氏网)统计; ②为蛇纹石化、绿泥石化、透闪石化和滑石化片岩, 位于岩体周边

岩、石英云母片岩等的片理以及许多小褶曲的轴面产状等, 该组面理的优势产状为 270° — 280° /SW(少量为NE) \angle 45° — 60° ; 其上矿物拉长线理发育。值得指出的是, 在超基性岩体周围普遍发育的蛇纹石化、绿泥石化、透闪石化和滑石化片岩中的片理, 其优势方位有两组: 一组为 300° /SW \angle 45° — 60° ; 另一组为 270° — 280° /SW \angle 55° — 66° 。在不同部位分别反映了上述两种面理, 即Sc和Ss。

线理的统计优势方位有两个: 一为 190° — 205° \angle 40° — 60° , 另一为 130° — 140° \angle 30° — 40° 。二者分别代表剪切带不同时期的剪切指向。石英棒状构造为前者的同期产物。综合分析宏观和微观构造, 可以认为脆-韧性剪切带的剪切指向为 130° — 140° \angle 30° — 40° , 其在剪切滑动面上的侧伏角为 35° — 45° 南东侧伏。说明剪切带为逆-右行平移或右行平移-逆滑动

的脆-韧性剪切带。这种结论与岩体、矿体的反S形透镜状及其右行雁行排列方式相一致；也与Sc和Ss优势方位相吻合。

三、剪切位移量的估算和剪切带形成深度分析

1. 剪切总位移量的估算：剪切带总位移量，根据剪应变大小进行估算。剪应变 γ 利用公式 $\gamma = 2/\tan 2\theta'$ 计算⁽⁴⁾。式中 θ' 为糜棱岩面理(Sc)与剪切带面理(Ss)间的夹角。这只适于简单剪切。因此，首先假设剪切带为简单剪切。根据宏观测量和偏光显微镜下观察结果，所得 θ' 数据以及据此计算的 γ 值列于表2。从表2中可以剪切带中心部位最大剪应变量为3.2左右。根据表2数据绘制的 $\gamma-x$ 曲线图11。 x 为横过剪切带从一个边界至测点的距离。根据剪应变量的变化(剪切带边界 θ' 为 45°)，按矿区测得的实际数据估计的剪切带宽度应大于1.8km(图11)。剪切带总位移量 s 的积分表达式为 $s = \int_0^x \gamma \cdot dx$ ；这个量也可用 $\gamma-x$ 曲线所

包含的面积求得。利用图11中 $\gamma-x$ 曲线下包含的面积估计的剪切带总位移量为2.3km。

表2 剪切带 θ 与 γ 值(以两剖面为例)

Table 2. θ and γ values of shear zone
(exemplified by two sections)

距 离 (m)	东3行剖面		东30行剖面		
	θ'	γ	θ'	γ	
距岩体北界	600		44°	0.69	
	400		39°	0.426	
	200	40°	0.353		
	0-10	26°	1.563		
		16°	3.200		
超基性岩体宽度 (m)	250-270		420		
距岩体南界	200	26°	1.563	17°	2.965

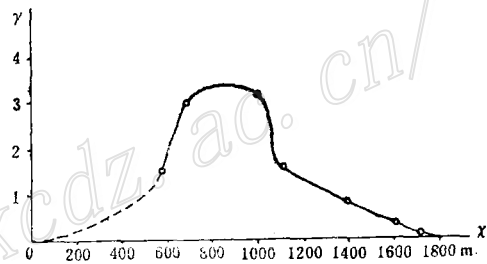


图11 剪切带 $\gamma-x$ 曲线图

γ —剪应变； x —横过剪切带从一个边界至测点的距离

Fig.11. $\gamma-x$ diagram of shear zone.
 γ —Shear strains; x —Distance from a boundary to measuring point across the shear zone.

2. 剪切带形成深度分析：龙首山为一强烈上升的断块构造。有资料表明^①，其东段自中生代以来上升幅度大于2.5km；如按构造运动较强烈的侏罗纪中期计起，即按160Ma计算，平均上升速率为15.625m/Ma。超基性岩体侵入时代为早加里东期。据区域地质测量报告^②，该岩体被绝对年龄为464Ma的花岗岩穿插，故其年龄应大于该数字，即使取464Ma计算，则岩体至少上升了7.25km。因此，侵入于剪切带内雁列空间的岩体上升幅度表明，剪切带形成深度至少不小于6.5—7.0km。地壳这种深度范围的物理条件可以使岩石处于脆性至

① 崔中允(执笔)(兰州地震研究所等)，1981，对甘肃龙首山东段地壳稳定性的意见(未刊)

② 甘肃省地质局第一区域地质测量队1:20万拉西堡幅区域地质测量报告，1968年

韧性的过渡状态。

四、结 论

金川铜镍矿控岩控矿构造并非为龙首山北缘深大断裂 F_1 脆性断裂阶段的入字型构造。含矿超基性岩体也不是岩墙状,而是呈右行排列的雁列脉。结合区域地质研究资料及笔者对矿区构造岩及小构造、显微构造研究分析,认为该矿控岩控矿构造为深大断裂 F_1 早期演化阶段的脆-韧性过渡型剪切带。四个矿区的划分实际上是独立的单个透镜体呈雁列排列的结果(仅I、III矿区为 F_8 断层所划分)。矿区内所谓的 F_{16-1} 和隐伏的 F_{23} 断层并非为I、II矿区和II、IV矿区的分界断层。根据单个岩体长轴方向为 $310^\circ-330^\circ$,其串联面走向为 300° ,平行于剪切带,二者间夹角小于 45° 确定,岩脉充填的裂隙,其力学性质为张剪性。该脆-韧性剪切带产状为 $290^\circ-305^\circ/SW\angle 40^\circ-60^\circ$;带中心剪应变量为3.2左右;据此计算的剪切带总位移量约为2.3km;估计剪切带宽度大于1.8km。剪切带形成深度应不小于6.5—7.0km。

需强调指出,上述构造模式也控制了整个龙首山基性、超基性岩带的分布。其他地区铜镍矿,有的也属此种类型。内生矿床中雁列脉是很普遍的。因此,本文对于该类矿成矿构造的研究具有一定的普遍意义。

工作中得到金川有色金属公司的大力支持与协助,在此特致衷心的感谢。

参 考 文 献

- [1] 马托埃, M., 1984,《地壳变形》, (孙坦、张道安译)地质出版社
- [2] 舍尔曼, C. H., 1980,《地壳断裂发育的物理规律》(高中和译,张裕明校)地震出版社
- [3] Sibson, R. H., 1977, Fault rocks and fault mechanisms. J. Geol. Soc. London, Vol. 133, pp. 191—213.
- [4] Ramsay, J. G., 1980, Shear zone geometry: a review. J. Struct. Geol. Vol. 2, pp. 83—99.

A PRELIMINARY DISCUSSION ON THE ORE-CONTROLLING EFFECT OF THE BRITTLE-DUCTILE SHEAR ZONE——A NEW IDEA ON THE ROCK-CONTROLLING AND ORE-CONTROLLING STRUCTURE IN THE JINCHUAN COPPER-NICKEL DEPOSIT

Sun Gniyu

(Department of Geology, Peking University, Beijing)

Abstract

The Jinchuan copper-nickel deposit is the famous "nickel capital" of China. Concerning the ore-forming structure, it has been long considered that the

ultrabasic body in the ore district together with the orebodies it contains is a dyke and also a derivative "λ"-shaped structure of the deep fault (F_1) on the northern margin of Longshou Mountain, which was cut at the late stage by three nearly EW-trending strike-slip faults to form the four ore districts that we see today.

According to the concept of tectonic level in the development of tectonic geology, the author has studied the shape of ultrabasic body and orebodies, their arrangement and the variation in their composition, and also made lots of observations on the tectonite representing ductile deformation of rocks—mylonite and other minor structures and microstructures. On such a basis, it is considered that the intrusive body and the copper-nickel orebodies in the Jinchuan ore district are a series of lenticular bodies in dextral en-echelon arrangement, which are here and there connected with each other, but unexceptionally form independent and closed petrofacies and ore facies, with some having been denuded into the form of a distorted funnel due to the rising of the crust. As a matter of fact, the four ore districts result from the arrangement of independent lenticular bodies formed by magma or ore fluids filling en echelon fissures which, in turn, are produced by shearing-slipping of a brittle-ductile shear zone, rather than a λ-shaped structure formed at brittle fracturing stage of fault F_1 . The ultrabasic body and orebodies make up an en echelon structure controlled by shearing-slipping of a brittle-ductile shear zone developed at the early evolution stage of fault F_1 .

This paper discusses the behavior of the shear zone, and the data obtained are as follows: the attitude of the brittle-ductile shear zone is $290^\circ-350^\circ/\text{SW} \angle 40-60^\circ$, the maximum value of shear strain (γ) at the center of the shear zone reaches 3.2 or so, the estimated width of the shear zone is more than 1.8km and the total displacement is over 2.3km, and the formation depth of the shear zone must be over 7.0km.

The author holds that this tectonic pattern also controls the distribution of all basic and ultrabasic rocks in Longshou mountain. This paper is therefore of some significance to theoretical study of ore-forming structures in such kind of ore deposits, evaluation of ore reserves and arrangement of exploration and mining work.