

甲乌拉矿床断裂构造地球化学特征*

王大平 朱秉诚

(黑龙江省有色金属矿产地质研究所·哈尔滨市)

本文对甲乌拉大型银多金属矿床主要控矿断裂破碎带、蚀变带、矿化带及围岩中的元素富集规律进行了初步探讨,分析了断裂构造与成岩成矿的时空关系,探讨了成矿断裂的构造地球化学特征及断裂构造地球化学障的控矿机制,提出了找矿预测标志。

关键词: 断裂构造地球化学障; 线性蚀变带; 找矿预测标志

地质概况

甲乌拉大型银多金属矿床位于内蒙新巴尔虎右旗西部。属额尔古纳褶皱系,处于北东向滨克鲁伦基底隆起^[1]及中生代火山杂岩带的东南缘,与北西向木哈尔—甲乌拉断裂带交汇处。东侧80km为北东向得耳布干深断裂带,南侧有北西向甲乌拉大断裂。

出露地层有上二叠统老龙头组火山—沉积岩和下白垩统上库力组陆相火山岩(图1)。印支期有花岗岩浆活动。燕山晚期有第一期的次多斑安山岩—次英安岩(平均133.1Ma); 二期为次石英斑岩—次花岗斑岩—次石英正长斑岩(平均114.1Ma)。两期均与成矿关系密切^[2]。矿区已发现的大、小矿体40余条,均呈脉状,严格受断裂构造控制。甲乌拉大断裂的次级北西、北北西、北西西向及北东向断裂发育,并明显控制着区内链状次火山斑杂岩系和矿脉的展布^[2]。

断裂构造的时空分布

特点

甲乌拉矿床断裂构造的发生、发展大体

经历了4个阶段,并与成矿次火山斑杂岩系和矿化活动的演化有着密切关系。即不同阶段成矿断裂控制着该矿床不同期次成矿岩体和矿体的时空展布^[2]。

1. 成矿前断裂

发生在燕山或印支期之前,是在甲乌拉大断裂制约的压剪性构造环境下形成的断裂系统。主断裂显示压性、压剪性特点,并基本构成甲乌拉矿床的断裂构造格架。

2. 早期成矿断裂

发生于侏罗纪—早白垩世,主体分布于矿区北部。断裂以张扭性为主,延长、延深均较大,并发育有次级雁行式断裂、裂隙等。是在能量释放期,引张作用逐步加强的构造环境下形成的张扭性—张性断裂系统。该期断裂常叠加在先期断裂之上,具有追踪、改造、叠加的构造特点,明显控制着矿区北部的燕山晚期第一期次火山岩系及早期矿脉的分布。主干断裂呈北西、北北西及北西西向,以南西陡倾为主。

3. 晚期成矿断裂

发生于早白垩世之后,主体分布于矿区中南部。断裂以张性为主,延长、延深均不大,多是短小、尖灭再现、呈楔形的断裂和

* 本文系国家“七五”重点科技攻关项目75—55—03—11—6研究报告的部分内容。

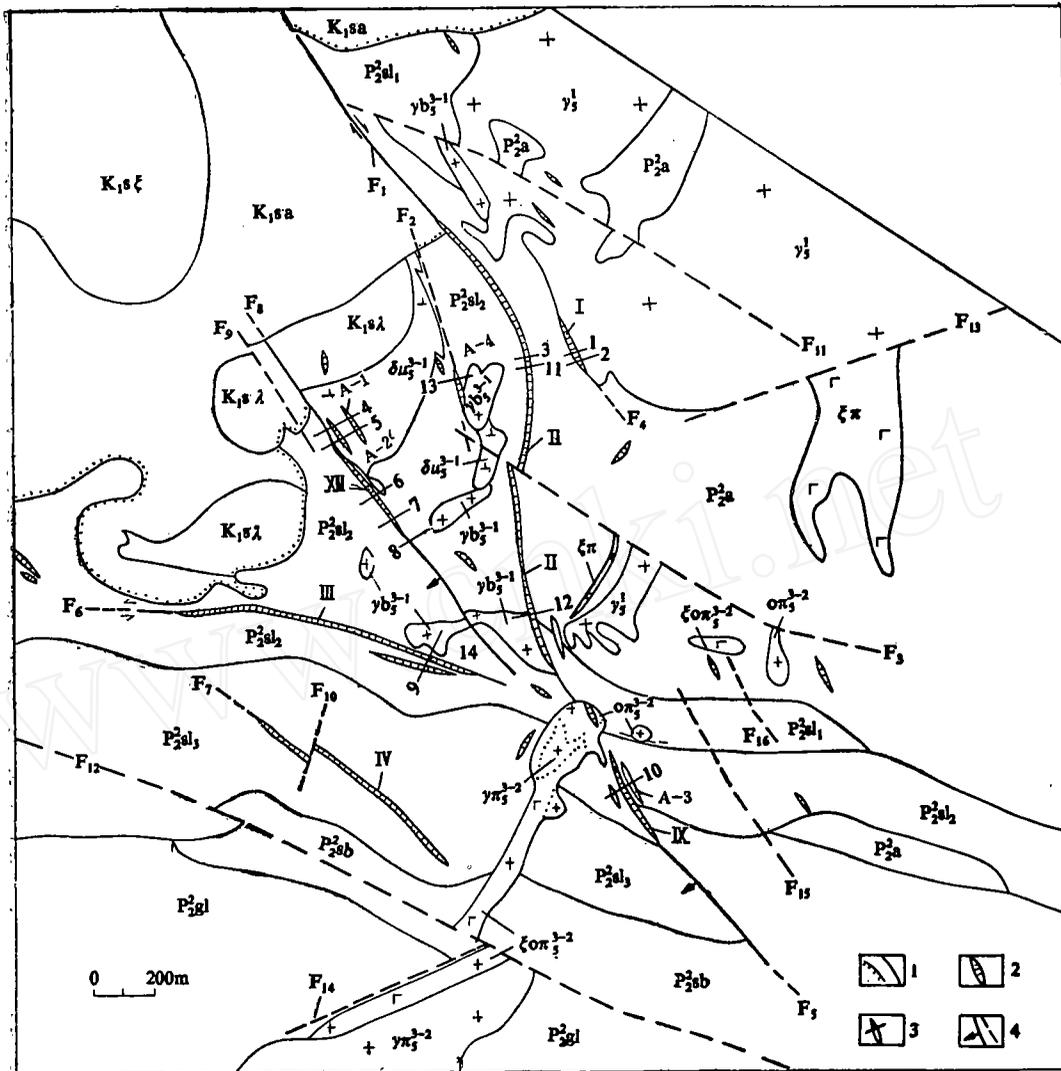


图 1 甲乌拉矿床地质图

K_{1sλ}—流纹岩、玻屑凝灰岩, K_{1sξ}—英安岩、粗面安山岩, K_{1sa}—安山岩、安山玄武岩, P_{2gl}—砂岩、砂砾岩, P_{2sb}—板岩夹粉砂岩, P_{2s1}—粗砂岩, P_{2s2}—中-细粒砂岩, P_{2s3}—粗砂岩、含砾砂岩, P_{2α}—蚀变安山岩, ξπ—正长斑岩脉, ξσ₅³⁻²—一次石英正长斑岩, γπ₅³⁻²—一次花岗岩斑岩, οπ₅³⁻²—一次石英斑岩, γb₅³⁻¹—一次英安岩, δu₅³⁻¹—一次多斑安山岩, γ₅¹—黑云母斜长花岗岩, 1—地质界线及不整合界线, 2—矿体及编号, 3—断裂构造地球化学剖面及预测矿体, 4—断裂及推测断裂

裂隙等, 是泛张的构造环境下形成的开张断裂系统。它明显控制着矿区中南部燕山晚期第二期火山斑岩系及晚期矿脉的分布。断裂以北西向为主, 其次为北东向, 倾向、倾角变化均较大。

4. 成矿后断裂

发生于晚白垩世之后, 呈北东和北西走向, 以剪性断裂为特征。常见其切割成矿岩体、成矿断裂、以及矿脉等。

上述断裂构造具有明显的时空演化规律。矿床由北向南, 时间从133.1Ma至114.1Ma (平均, K—Ar年龄), 该矿床成矿期由

早至晚引张作用增强,成矿断裂的规模由大变小,分布范围则越来越广,成矿断裂所集聚的矿液由集中变为分散,成矿元素的组成也发生规律性变化。构造环境与成矿次火山岩系均呈张性的岩体构造地球化学特点^[3],明显反映出成矿断裂是由封闭转为引张。

成矿断裂构造地球化学

特点

断裂构造的许多地球化学特点,是通过断裂破碎带、蚀变带、矿化带以及围岩之间各种元素的变化、迁移、富集等的差异性和规律性所体现出来的。然而,这些差异性和规律性恰恰也可以反映出本矿床成矿断裂的构造地球化学特点。

1. 成矿断裂的分带性

成矿断裂具明显的分带性。即成矿断裂由矿化带、破碎带、线性蚀变带三部分组成。据其不同组合形式,将成矿断裂分为对称型、不对称型和复杂型。

(1) 对称型:成矿断裂中部(内带)为矿化带,向两侧为破碎带,再向两侧(外带)为线性蚀变带过渡到正常围岩,或者再向两侧为上、下盘矿化带,然后才是线性蚀变带过渡到正常围岩。

(2) 不对称型:成矿断裂中部为破碎带,在断裂的上盘(下盘)发育一条矿化带,再向外为线性蚀变带至正常围岩。

(3) 复杂型:成矿断裂的中部及上盘或下盘均发育有矿化带,或者有两组以上平行断裂发育有多条矿化带、破碎带、线性蚀变带(但不对称)。

2. 成矿断裂中元素的变化规律

甲乌拉矿床14条断裂构造地球化学剖面中,常量、微量元素(共33个)的含量变化曲线的初步分析,归纳出主要成矿断裂中元素的横向和纵向的变化规律(趋势)。

(1) 横向变化规律:成矿元素Ag、

Pb、Cu、Au、Sb、Bi、Sn(有时包括Fe、Mo、Zn、Hg),放射性元素Th、U,铁族元素Cr、Ni、Co、V,以及Th/U、Pb/Zn、Cu/Mo等比值,在成矿断裂中部或上、下盘出现峰值,并形成矿化带,而在破碎带及线性蚀变带出现低值(图2)。造岩碱性元素K、Na、Ca、Mg、Rb、Sr、Li、Be(两性),造岩酸性元素Si、Al、P、Be,以及K/Na、Rb/Sr等比值在成矿断裂的线性蚀变带及破碎带出现峰值,而在矿化带出现低值。

成矿元素、造岩元素在成矿断裂矿化带、线性蚀变带(破碎带)出现的盈亏现象,以及两类元素在成矿断裂中的反消长关系,说明成矿断裂和矿液的演化过程中,都具有横向变化规律,反映出成矿断裂中元素的带出带入。

(2) 纵向变化规律:矿区由北西南东、由北向南、由西向东,成矿断裂中Ag、Pb、Hg、As、Sb等含量具由高变低的趋势,Cu、Bi、Mo、Zn、W等显示由低变高趋势。反映矿区北—西侧是Ag、Pb为主的矿脉,东—南侧是Cu、Mo、Zn为主的矿脉。

区内由北西南东Rb、K等的变化趋势是高→低→高;而Ca、Na则为低→高→低。反映成矿断裂线性蚀变带在空间上的变化趋势。

3. 元素富集规律

从已知矿脉的时空展布可看出:成矿元素主要分布、富集在提供矿质的次火山岩系复式岩体附近^[2](几组断裂交汇处)张开的断裂、裂隙内。

将矿区断裂构造地球化学样品分析数据进行归类分组,统计各自的相关系数,同时建立了成矿断裂的数学地质判别方程^[4],表明在成矿断裂矿化带中,Ag与Pb、Au、Cu、Sb等元素的相关系数均大于0.71($n=18$),Au与Cu、Ag、Sb、Bi、Fe、Co、Sr等元素的相关系数均大于0.59($n=18$)。这

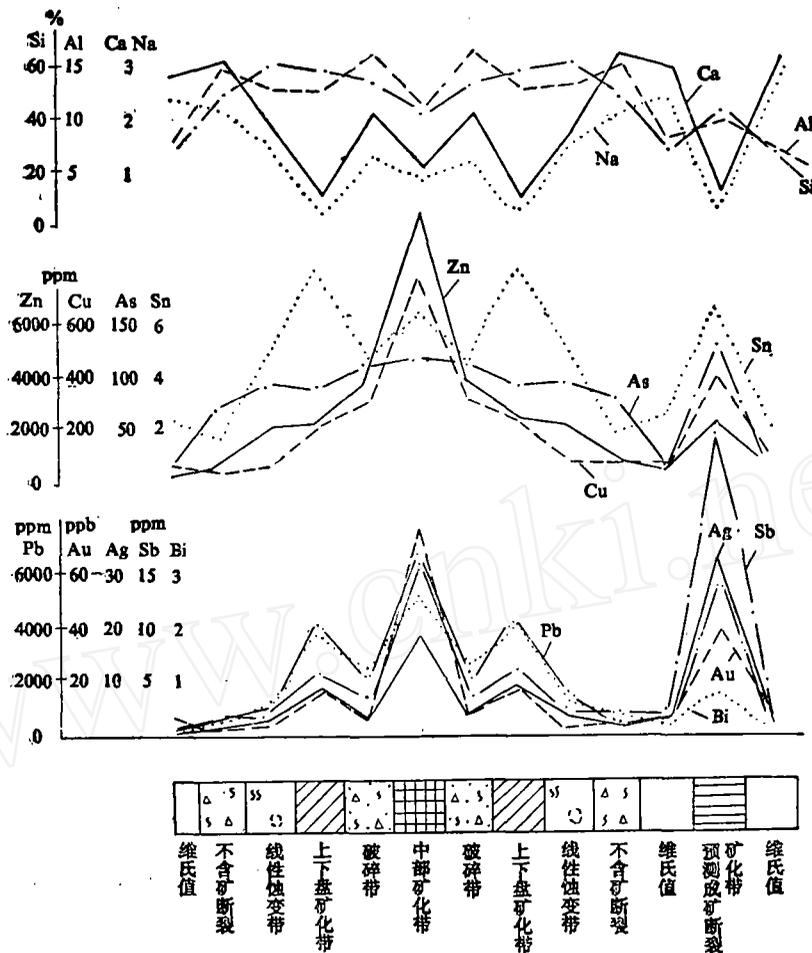


图 2 甲乌拉矿床断裂中元素变化富集规律综合模式图

说明富集在成矿断裂矿化带中的绝大部分成矿元素之间关系密切，具有某种内在的成因联系。即能形成密切共生的矿物或形成类质同象矿物而富集在一起，甲乌拉矿床常见的银矿物有金银矿、银金矿、银黝铜矿、硫锑铅银矿、硫锑铜银矿等^[6]。这是由于这些元素的原子或离子半径相同或相近，配位数及配位多面体的大小接近，电价相同或易于补偿等原因。例如，Au与Ag、Cu的相关系数分别为0.773和0.956，它们的原子半径（及配位数）分别为1.40(8)、1.40(8)、1.24(8)，因而它们常呈类质同象富集在一起，形成金银矿、银黝铜矿等。又如，成矿

断裂中Pb与Ag、Sb相关系数分别为0.75和0.72，所以常见有银赋存在方铅矿裂隙中，或呈类质同象形成硫锑铅银矿。

成矿断裂矿化带中，成矿元素与造岩元素间的相关系数表明，Au、Cu、Ag、Pb、Zn等与Si、Al呈负相关特别明显或明显。其中Au与Si、Al的相关系数为-0.605、-0.742，Cu与Si、Al的相关系数为-0.714、-0.703，Ag与Si、Al的相关系数为-0.337、-0.533等。野外观察证明，Ag、Pb、Zn、Cu、Au等成矿元素主要富集在成矿断裂的矿化带中，而Si、Al等造岩元素主要富集在矿化带旁侧的线性蚀变带中。

构造地球化学成矿机制

促使元素迁移和富集的重要因素之一，是应力场梯度。从甲乌拉矿区链状次火山岩系中分离出的矿液，是由应力梯度中心或能量释放中心（即断裂构造活动中心及地下深处），在有相当大的应力差和压力差的情况下，由中心沿断裂及裂隙向外（向上）迁移、富集、沉淀。远离这个中心，应力梯度降低，驱动力减弱，成矿元素的富集浓度（丰度）也相应减弱。笔者认为，成矿元素的富集浓度与成矿断裂从应力场获得的能量一般成正比。例如图3为6号断裂构造地球化学剖面，北东侧（右）靠近成岩成矿和断裂构造活动中心，从北东向南西发育有 F_8 成矿断裂及一系列次级平行断裂。随着应力场梯度由北东（中心）向南西逐渐降低，与 F_8 平行的次级断裂的规模也逐一减小，而且成矿元素的富集浓度也逐随之减弱。即有成矿

断裂(F_8)→矿化断裂→弱矿化断裂→无矿化断裂的断裂构造地球化学横向演化富集规律。甲乌拉矿床断裂构造地球化学纵向演化规律也与应力梯度中心、热源中心、或能量释放中心密切相关。围绕这些中心，成矿元素及其浓度具有明显的纵向环状分带性，本矿床硫同位素变异晕^[6,2]等也不同程度的反映了这种特点。

甲乌拉矿床在形成过程中，断裂构造是最重要的成矿、控矿因素之一。具体讲，在成矿断裂中循环、运移的矿液，是一种由火山、次火山熔融岩浆分离出的含有金属离子、水、 Cl^- 、 Na^+ 、 K^+ 、 Mg^{2+} 、 S^{2-} 、 F^- 、 SO_4^{2-} 、 CO_2 、 N_2 、 CO 等离子和可溶性气体（这些可由矿床包裹体成分分析佐证）的热液以及混入的天水等组成，属中低—中高温、中等盐度、中等密度的偏酸性（ $pH < 5.5$ ）具有很强萃取地层及岩体中成矿金属离子的热流体。这种热流体中有足够的运矿剂或络

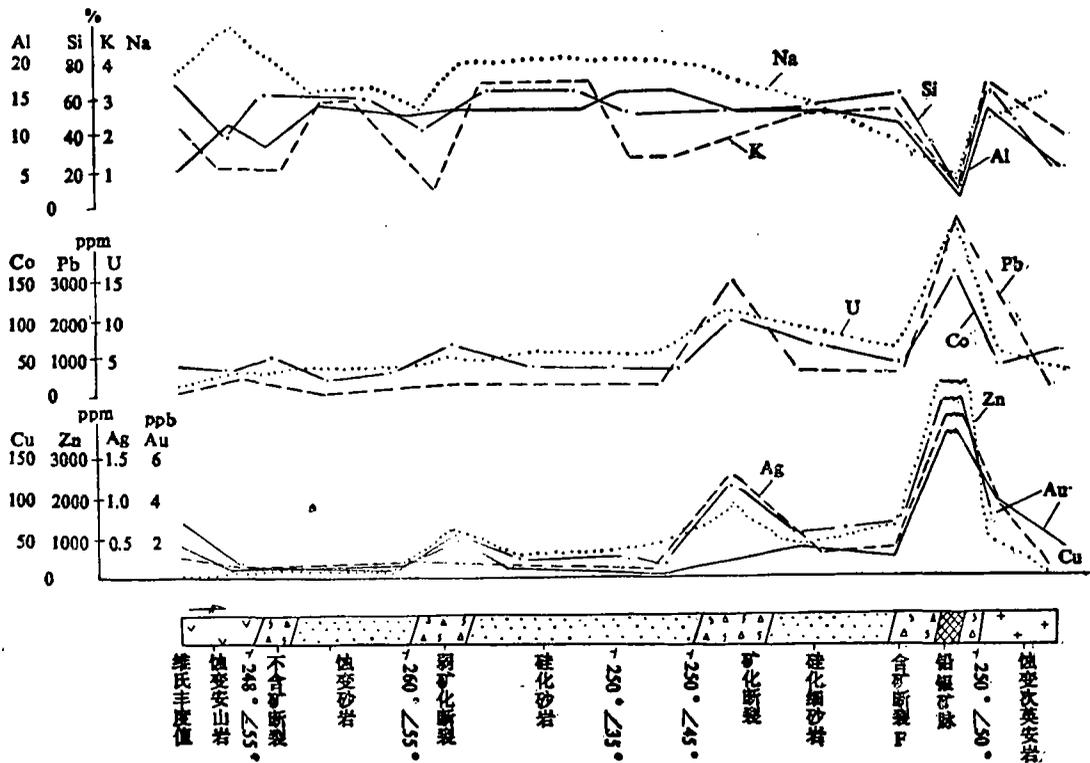


图3 甲乌拉矿床6号构造地球化学平面剖面图

合剂。因此,热流体中的金属离子,以及被萃取来的金属离子多呈可溶性金属络合物的形式在断裂中被搬运或迁移。例如,甲乌拉矿床最丰富的成矿元素Pb(Ag的主要载体矿物),主要是以 $PbCl$ 、 $Pb(OH)Cl$ 、 $PbCl_2^-$ 等络离子或络合物的形式在断裂中被搬运和循环(矿区 F_1 成矿断裂中Ⅱ号矿体的气液包裹体中 Cl^- 、 Na^+ 的含量均很高, Cl^- 为40.8 ppm、 Na^+ 为27.9 ppm)。络合反应式为: $Me^{2+} + NaCl + H_2 = Me(OH)Cl + Na^+ + H^+$ 反应结果是使溶液更偏酸性,具更强的萃取成矿金属元素的能力。这种成矿热流体与成矿断裂中的温度(T)、压力(P)、pH值、Eh值、氧逸度(f_{O_2})、硫逸度(f_{S_2})、盐度,以及前面叙述的应力场梯度等诸因素关系密切,并不同程度地受其影响和制约。

在成矿断裂深处及顶部闭合的断裂构造活动中心,成矿热流体是在封闭及半封闭呈还原环境的断裂系统中循环、运移(还原环境下Pb、Cu、Fe等弱碱性成矿元素呈低价,易在水溶液或偏酸性介质中运移)^[7],并不断的萃取和浓集金属离子。当成矿热流体运移到表层断裂或近地表、或诸如甲乌拉矿床断裂构造系统的突然引张处(矿床断裂交汇处钻孔样包裹体中常见沸腾气液包裹体),封闭、半封闭系统被打破,转为开放、半开放系统。这时,系统的温度、压力急剧降低,挤压应力场消失,能量迅速释放。温度、压力、应力场等物理环境的突变,导致某些成矿元素在短距离内形成金属矿物晶出。这种阻碍成矿元素在溶液中运移的断裂构造,笔者称为断裂构造地球化学障。

与此同时,成矿热液系统中Eh值升高(F_1 成矿断裂的Ⅱ号矿体由深部到浅部Eh值由0.61→0.62,即由还原向氧化环境转化($\log f_{O_2}$ 由 1.6×10^{-41} → 1.5×10^{-31}),促使成矿元素发生变价。改变了元素原有的迁移状态,也使某些成矿元素在短距离内发生沉淀(即弱碱性成矿元素在低价态易于迁移,

而高价离子具有两性,迁移能力弱,氧化作用导致其沉淀)^[7]。这种作用或反应过程,赵伦山称之为氧化障。

此外,当成矿热流体进入活化的、发生引张作用、具有前期压性和压剪性特点的断裂构造系统内,在断裂上、下盘(或断裂两壁)常常发育有线性蚀变带(压性、剪性动力变质带或热液蚀变带)。该蚀变带很窄,各断裂发育程度不同。主要有Ca、Mg、Na、K等碱质蚀变带组成(如 F_1 断裂的上、下盘),有时还具备双层的碱质蚀变带,内层为钾化带(靠近破碎带一侧),外层为Ca及Na化带。断裂中运移的矿液遇到碱性(及弱碱性)介质的化学环境(pH>5.5时弱碱性金属易沉淀),极易促使金属络合物解体,也发生短距离内成矿金属离子的结晶沉淀、富集成矿(据本矿床包裹体研究,Ⅱ号矿体ZK39孔198m处矿液的pH值>6)。成矿断裂两壁碱性化学环境的这种屏蔽作用,本文称之为化学障。

甲乌拉矿床上述断裂构造障、氧化障和化学障的联合作用,无疑是对成矿断裂中循环运移的成矿热流体产生一种构造地球化学的屏障作用。从而促使成矿热液中的成矿元素在短距离内发生沉淀,在断裂内富集成矿。因此,笔者把这种综合障的成矿作用叫做“断裂构造地球化学障”成矿作用,或称之为断裂构造地球化学成矿机制。

在这种成矿作用下,甲乌拉矿床次火山岩系的成矿热流体,在引张的成矿断裂中及特殊的构造环境下,发生卸载——成矿元素在断裂中富集成矿,进而形成甲乌拉式陆相次火山热液裂隙充填式银多金属矿床^[5]。

“断裂构造地球化学障”的成矿作用或成矿机制,还很好地解释了本矿床40余条矿体,为什么只有Ⅱ号等少数矿体较厚大、品位高、占矿床绝大部分储量。这是因为Ⅱ号矿体的上、下盘为二叠系变质安山岩与砂岩的界面,在 F_1 压剪性转张剪性的多期活动下,

Ca、Mg、K、Na等碱质蚀变带非常发育，且比其它断裂分布均匀而稳定，起着促使矿液中的成矿元素发生沉淀反应和阻止矿液扩散、流失的双重作用，所以形成厚大的Ⅰ号工业矿体。

找矿预测标志

1. 成矿断裂发生在燕山晚期，与该期陆相次火山岩系在时空上紧密伴生。并明显继承成矿前断裂的方向和性质，进一步呈引张特点，走向北北西、北西、北西西向。早期成矿断裂以张剪性为主，分布在矿区北部，以控制铅银矿脉为主，有Pb、Ag、Hg、As、Sb为主的富集趋势。晚期成矿断裂以张性为主，分布在矿区中南部，以控制铜锌小矿脉为主，有Cu、Mo、Zn、Bi、W为主的富集趋势。

2. 沿成矿断裂常分布有Ag、Pb、Zn、Cu、Mo等元素组合带状次生晕异常。成矿断裂两侧具有明显的线性蚀变带，其中Ca、Mg、K、Na等组成的碱质蚀变带对成矿更有利。

3. 成矿断裂的中部或上、下盘矿化带，Ag、Pb、Cu、Au、Sb、Bi、Sn(Fe、Zn、Mo、Hg)等成矿元素，Cr、Ni、Co、V等铁族元素，Th、U等放射性元素及Th/U、Pb/Zn、Cu/Mo等比值具明显峰值；K、Na、Ca、Mg、Si、Al等造岩元素出现低值(或V谷)。成矿元素与造岩元素呈明显的反消长关系是重要的断裂构造地球化学找矿标志。

4. 利用断裂构造剖面地球化学样品分

析数据，建立了成矿断裂的数学地质判别方程^[4]。

$$A = -966.94 - 122.45Au - 50.13Ag - 236.69Li + 440.61Be + 68.93Pb - 39.34Zn + 1169.65Si + 324.26Ca \quad (1)$$

$$B = -1046.13 - 140.42Au - 60.02Ag - 288.44Li + 472.80Be + 77.17Pb - 51.15Zn + 1257.37Si + 357.55Ca \quad (2)$$

将未知断裂样品的变量代入A、B两方程。若A>B为含矿断裂，反之不含矿断裂。实践证明，该判别方程在甲乌拉矿区是行之有效的。

据上述断裂构造地球化学找矿标志，在甲乌拉矿区已预测出4条成矿断裂带：A-1、A-2、A-3、A-4(见图1)。均以铅银矿化为主，初步测试结果各断裂中含铅分别为1.07、1.0、0.15、1.3%；含Ag分别为78、78、8.7、80.6g/t；A-3中含Zn 0.26%。其中A-4(F₂)找矿远景最好，推测长度大于800m，其余均大于100m。

参考文献

- [1] 苏联地科队，《蒙古地质基本问题》，地质出版社，1980。
- [2] 王大平等，矿产与勘查，1991，第2期。
- [3] 王大平等，地质与勘探，1991，第10期。
- [4] 王大平等，黑龙江有色金属地质，1990，第1—2期。
- [5] 王大平等，金银矿产选集，1991，第15集。
- [6] 杨竞红等，矿产与勘查，1989，第4期。
- [7] 赵伦山、张本仁，《地球化学》，地质出版社，1988。

Geochemical Features of Fractured Structure of the Jiawula Deposit

Wang Daping Zhu Bingcheng

Element enrichment regularity in major ore-controlling fractured, alteration and mineralization zones as well as in country rocks of the large-sized Jiawula Ag-bearing multimetallic deposit is discussed. After an analysis on the time-space relationship between fractured structure and diagenesis-metallogenesis, tectonochemical features of the ore-forming fractures, and the ore-controlling mechanism of the tectonogeochemical barrier, several guides for ore exploration and prognosis are suggested.