



32260

献给第二届全国青年地质工作者学术讨论会

青年学术论文集

1991年
32260

中国有色金属工业总公司北京矿产地质研究所
青年地学协会

一九九一年十月

坚持实践，确实掌握第一性资料，理论联系实际，宏观结合微观，综合概括新认识和新观点，开拓新思路，为发展社会主义地质事业，作出新的更大贡献。

康永孚 91.8.27

中国地质学会名誉理事、《矿床地质》副主编、著名钨矿地质学家、北京矿产地质研究所教授级高级工程师康永孚先生题词。

前 言

我所是中国有色金属工业总公司直属的以有色金属地质找矿战略咨询为中心的综合性的科研所。现有职工近 200 人,科技人员 140 人,其中青年科技人员有 70 多名,占全所技术人员的一半以上,他们来自全国 20 多所院校的 20 余个专业,其中具有研究生学历的占 1/3 强。在老、中年专家的指导和帮助下,通过地质找矿科研实践的锻炼,青年一代已逐渐成长起来,不少已成为技术骨干,担任课题负责人的有 20 多人。据初步统计,我所青年技术人员中获得国家级、部级科技成果奖的达 30 多人次,在全国性学术会议上获得优秀论文奖的有 10 余人次。

为加速青年成长、尽快解决人才断层的问题,在所领导的积极支持下,我所于 1987 年 3 月成立了青年地学协会。四年来,先后举办了两次学术论文报告会以及专业学术讲座、国内国际学术会议介绍、出国进修人员座谈等活动。为检阅我所青年科研成果,增强同兄弟单位的交流和联系,在所领导的倡议下,青年地学协会组织编印了这本《青年学术论文集》,以迎接第二届全国青年地质工作者学术讨论会的召开。论文集共收录论文 28 篇,论文摘要 4 篇,涉及矿床地质、岩石矿物、地球化学、地球物理、地质经济、遥感地质、数学地质、分析测试、计算机应用等专业领域。因时间较紧,尚有一些较好的论文来不及收入文集,同时文集中难免会有不足之处,敬请批评指正。

文集编印过程中得到了青年地学协会顾问康永孚先生、陈振玠所长、马力总工程师、冯建良副所长、科技处孙延绵、余大良处长的热情支持,并承蒙熊光楚、欧阳宗圻、王敬尧、王之田、施林道、姜齐节、梅友松、王庆乙等教授级高级工程师,李恭、姜福芝、周学禹、黄超、齐文秀、王振平、周宏坤、艾霞、韩东南、王书惠、郑厚琳等高级工程师和康健、王静纯、张家璐工程师的热心指导,审阅稿件,提出不少宝贵的修改意见。在此,我们谨向他们表示衷心的感谢!

编辑组主要成员:秦克章、张建中、杨竞红、张建敏、王军、张西平

中国有色金属工业总公司北京矿产地质研究所青年地学协会

一九九一年六月 北京

目 录

一、矿床地质

- 内蒙东升庙铅锌硫矿床海底喷流沉积成矿作用地质地球化学特征.....缪远兴(1)
- 中国北东部两个金矿带的划分及其意义.....祝新友 缪远兴(8)
- 大井多金属矿床成矿物理化学条件及成因探讨.....冯建忠(17)
- 内蒙潘家沟银矿成矿环境和地质特征.....刘国平 何厚强 王军升(27)
- 河南铝土矿成因的一点新认识.....王寿成(35)
- 从裂谷晚期构造—火山活动角度探讨辽东吉南地区和朝鲜北部铅锌
的成矿条件.....张进红(46)
- 湖北黄石铅锌矿田地质地球化学特征及成因.....王焕章(53)
- 湖南漠滨金矿含矿变质建造的地质地球化学特征.....朱思才(65)
- 江西大背坞剪切型金矿成矿地质特征及找矿模式*.....肖海明(75)

二、岩石学·矿物学

- 新疆额尔齐斯泥盆系火山岩带的火山岩组合类型及其它.....王玉往 姜福芝(77)
- 东乡铜矿伴生金银的赋存状态及富集特征.....吴俞斌(85)
- 青城子铅锌矿南坑矿床伴生银矿石工艺矿物学研究.....方楠 王莉娟(92)
- 江西荡坪钨矿宝山铅锌矿区伴生银矿石工艺矿物学研究.....杨竞红 董毅(96)

三、矿床地球化学

- 乌山铜 钼矿床热液蚀变过程中稀土元素的行为及其意义.....秦克章 王之田(106)
- 内蒙额尔古纳—呼伦多金属成矿带稳定同位素研究.....杨竞红(116)
- 甘肃某金矿床稀土元素地球化学研究*.....陈伟民 王军升(125)

四、地球物理

- 磁偶源混合电磁测深法.....王军 许洪海(127)

五、勘查地球化学

- 反映矿质沉淀环境的造岩元素地球化学异常—重要的找矿标志.....张西平(136)
- 内蒙东部黄岗梁—甘珠尔庙成矿带地球化学特征及异常评价.....丁汝福(143)
- 寿王坟铜矿邻近周边地球化学找矿研究*.....王军升 陈伟民(154)

六、地质经济

- 矿产资源的“国家经济评价”初探.....张建敏(156)
- 我国铜资源的勘查方向研究.....方国芳(161)
- 多目标决策理论在矿床工业指标优化中的应用探讨.....刘和发(166)
- 新路矿区砂锡保有储量的地质经济评价.....殷淑丽(170)
- 东川铜矿落因矿带深部地质勘查经济论证.....吴家齐(176)
- 兰坪地区区带铜矿地质勘查经济效益的研究.....余金喜(183)

七、遥感地质·图像处理

多变量数据因子图像模式分析的研究和应用.....陈卓宁 李 恭 张建中(189)

八、数学地质

层次分析法在成矿预测中的应用方法研究.....付水兴(200)

九、计算机应用

IBM AS/400PC SUPPORT 软件性能改善.....云江 康健(204)

用HP喷墨打印机打印光栅图 象.....张建中(207)

帐务处理系统 *张姿旭(210)

十、分析测试

银矿标样中银的全差示分光光度法测定.....新新梯(211)

注：带·号者仅有论文摘要。

矿床地质

内蒙东升庙铅锌硫矿床海底喷流沉积成矿作用地质地球化学特征

缪远兴

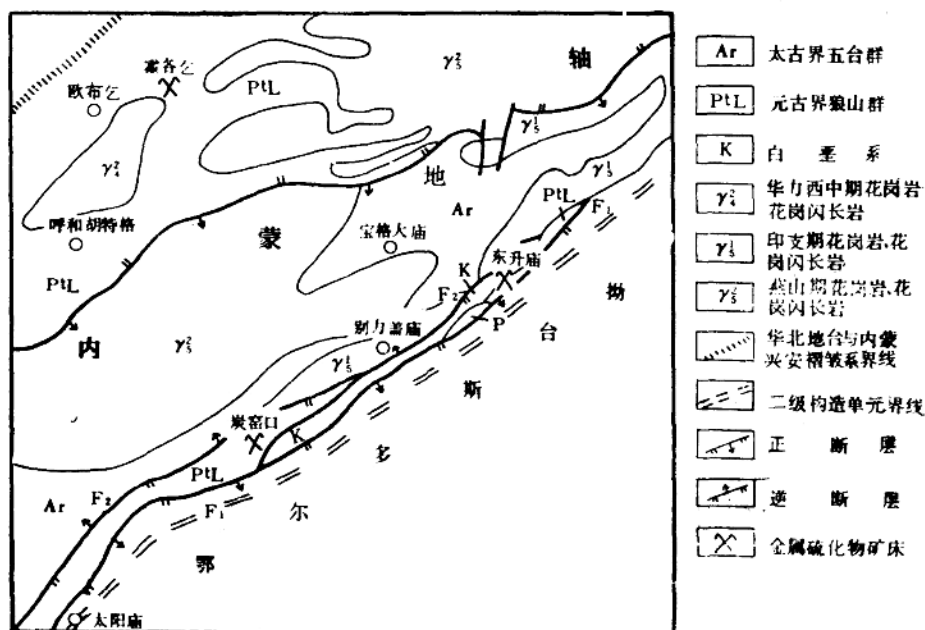
内容提要 东升庙铅锌硫矿床是华北地台北缘西段的一个特大型矿床。长期以来,对该矿床的成因认识众说纷纭。本文对矿床区域成矿地质条件和矿床地质地球化学特征进行了分析研究,提出海底喷流沉积成因的观点,初步探讨了矿床海底喷流沉积成矿作用机理。

主题词 内蒙 东升庙 铅锌硫矿床 海底喷流沉积成矿

内蒙东升庙是我国著名的狼山有色金属成矿带中的一个沉积-变质型铅锌硫矿床,其锌、硫规模达特大型,铅达中型,铜为小型,伴生钴、镉、银、金。本文通过矿床区域成矿地质条件、矿床地质地球化学特征研究,对矿床早期成矿作用—海底喷流沉积成矿作用及其机理进行初步探讨。

区域成矿地质条件和矿区地质概况

产有东升庙、霍各乞、炭窑口等大型、特大型多金属硫化物矿床的狼山地处华北地台北段北缘内蒙地轴上,其北与内蒙兴安地槽褶皱系毗邻,其南与鄂尔多斯台拗相接(图1)。



中元古代时，狼山地区位于华北克拉通边缘，狼山主干山岭为古陆，其南为中元古海槽。该海槽自西部的太阳庙一带，向东经炭窑口、东升庙，一直延入白云鄂博。在这一狭长弧形海槽中分布有数个盆地（刘仁福等，1984），其中的炭窑口—东升庙盆地长约80公里，原始宽50公里，其间又有一水下台地将东升庙与炭窑口彼此分隔。可见，东升庙矿区的古地理环境是属于蒙中元古代海槽中的次级盆地。岩相古地理研究表明，该盆地属于比较宁静和还原的海湾或泻湖环境，这种环境，为喷出海底的热液沉淀提供了就位条件。

区域上与东升庙、炭窑口矿床有关的断裂构造有两条，一条是“狼山山前大断裂”（ F_1 ），另一条是沿炭窑口—东升庙北部通过的“逆掩断层”（ F_2 ）（图1）。 F_1 形成于中生代，与成矿关系不大； F_2 西部见有基性、超基性岩体充填是一条超壳断裂。它形成于太古代末，之后多期活动。形成伊始为压—压扭性，至早、中元古代转化为张性，中生代以后转化为压性，从而把“狼山花岗岩”逆掩到白垩纪红层或更老地层之上。该断裂及其派生的次级断裂在中元古代的活动，为东升庙矿床提供了矿液运移的通道。

据区调资料，中元古代区域上有中性、中酸性和酸性岩浆活动，狼山群含矿层之下的第一组（相当于区调上的“刘鸿湾组”）中，有约40%的中基性火山碎屑和火山熔岩夹层。这些区域上的热事件，为东升庙矿床形成时的海底热液循环提供了热动力。

狼山地区太古界地层的Pb、Zn、Ba、Cr、Co、Ga、F等元素的含量均高于维氏克拉克值，而且上述元素除Pb之外，均高于狼山群和白垩系地层。因此，作为狼山群沉积基底的太古界地层成矿元素的高含量，为海底热液循环萃取、进而为成矿提供了物质基础。

矿区主要地层为中元古界的狼山群和白垩系。狼山群分三组，第一组为二云石英片岩和混合质眼球状、条带状二云片岩，局部夹灰白色石英岩；第二组下部有一薄层含铜石英岩，中上部为一套白云石大理岩与炭质绢英片岩互层的类复理石建造；第三组为石英岩、绢云片岩、石英片岩和绿泥绢英片岩。白垩系为紫红色砂砾岩。

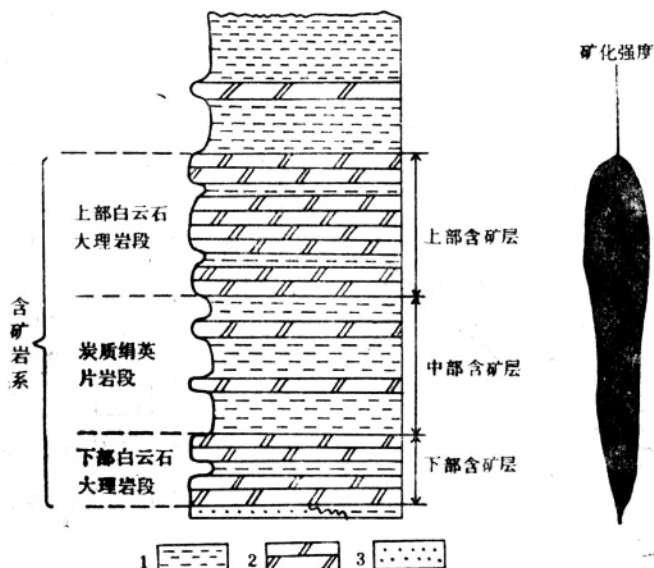


图2 东升庙矿区含矿岩系柱状图

1—炭质绢英片岩或片岩 2—白云石大理岩 3—石英岩

矿区的含矿岩系为狼山群第二组中部及上部地层。根据岩性组合及含矿性差异,可把含矿层分为三层(图2):上部含矿层为白云石大理岩层;中部含矿层为炭质绢英片岩层;下部含矿层为白云石大理岩层,矿化强度有从下部含矿层→中部含矿层→上部含矿层逐渐增强的趋势。将容矿岩石的化学成份投入容矿岩石成份三角图中可知,矿区容矿岩石与世界著名的海底喷流型铅锌矿床如麦克阿瑟、芝特艾萨的容矿岩石一致(D.F.桑斯特,1985)。

从图2可以看出,含矿岩系实际上是由碳酸盐岩与炭质、泥砂质岩石构成的互层带,它一方面反映了海进序列中有机质丰富的还原环境,另一方面也反映了矿床形成于相对稳定的动荡时期,因而表现出矿体产出的多层性。

矿区的褶皱构造和断裂构造均比较发育,其构造线方向与区域一致,均为NE方向。褶皱构造有东升庙背斜、那云山向斜和二贵口背斜,大的断裂构造即区域上的 F_1 和 F_2 ,它们分别在矿区的北部和南部通过,其它断裂主要为一组NE向的逆冲断层。矿体的富化与褶皱构造有关,矿体多数分布在东升庙背斜的北翼;断裂缝 F_2 对矿液运移起了间接作用外,其它断裂主要对矿体起破坏作用。

矿区的岩浆活动不甚强烈。矿区北部分布有海西期侵入的“狼山花岗岩”岩基,矿区本部分布有一些岩脉,其中以所谓的“残斑变岩”(变质酸性脉岩)为主要者。这些岩浆活动均与成矿关系不大,仅在岩体或岩脉附近有一些矿液重新活动迹象和矽卡岩型矿化。

矿床地质地球化学特征—海底喷流沉积成矿作用的主要证据

(一) 矿体特征

近年内蒙化工地质队在矿区中部初步勘探共圈出140余个矿体,其中硫矿体93个,锌矿体35个,铜矿体15个,铅矿体30个,其中1 $^{\circ}$ 、2 $^{\circ}$ 、11 $^{\circ}$ 矿体的硫矿石量占总储量的69.23%、2 $^{\circ}$ 、11 $^{\circ}$ 矿体的锌金属量占锌总储量的65.02%。

矿体一般长1500米左右,单个矿体一般厚5~10米,延深200~800米。矿体呈层状,似层状、透镜状顺层产出,主要受褶皱构造控制,随地层褶曲而褶曲,褶皱鞍部有矿体加厚、品位变富现象。因此,矿体沉积成矿特征明显。

(二) 矿石构造特征

矿床中与海底喷流沉积成矿作用有关的矿石构造主要有团斑状、角砾状、条带状、块状、层纹状、结核状和星散状构造,其中团斑状、角砾状构造是热液活动的典型产物,而层纹状、结核状和星散状构造是沉积成矿作用的代表。

团斑状构造是以石英和/或白云石(方解石)为团斑,其粒径一般1~2毫米,最大可达1~2厘米,滚圆状或不规则状,被矿石矿物所包围,团斑内可见浸染状或细脉浸染状矿化。团斑早于或与矿石同期沉淀。角砾状构造矿石中的角砾有围岩角砾和矿石角砾两种,其大小可与石英团斑相比拟,形状以棱角状者居多,它们均以矿石矿物为胶结物。这两种构造显然由断裂多期活动、矿液脉动或喷发所造成,是通道相及其附近的典型产物。

层纹状构造由黄铁矿或磁黄铁矿构成的、宽1毫米或更窄的层纹组成,层纹大多平行排列,但也有相互交错、构成交错层理者。这种构造,显然是沉积作用的典型构造。结核状构造是指由黄铁矿组成的结核为磁黄铁矿所包围的矿石构造。黄铁矿结核大小不一,大者可达2厘米以上,小者米粒大小,结核与胶结物间常见一层氧化薄膜。这种构造系由动荡的沉积环境所造成。所谓星散状构造,是仅在高倍镜下见及,黄铁矿、闪锌矿或黄铜矿呈微粒状

弥散于白云石大理岩或炭质绢英片岩中的矿石构造。沉积岩中分布如此细小、分散状金属矿物，显然只有沉积作用才能完成。

上述分别代表热液成矿作用和沉积成矿作用的矿石构造，在空间分布上有一定规律。团斑状、角砾状构造矿石主要见于矿区中部（东升庙沟附近）北侧，而层纹状、结核状以及星散状构造矿石主要出现在矿区东部、西部及南部。可以推知，矿区中部北侧，可能是海底喷流中心，其矿石构造主要表现热液成矿作用特征；而矿区的东、西、南部，因远离喷流中心，则主要表现沉积作用特征。

（三）海底喷流作用形成的重晶石和硅质岩

喷流作用形成（热液成因）的重晶石和硅质岩目前仅在矿区东部和西部发现。在矿区东部，如ZK4/32孔，见有重晶石与黄铁矿、磁黄铁矿共生，呈镶嵌状产出，而硅质岩则为块状，局部有变质分异的石英脉充填，见黄铁矿和黄铜矿化，镜下为细粒结构；在矿区西部，如ZK4/19孔，重晶石、硅质岩、金属硫化物分别集中，互成条带，显示原生沉积层理。由此看来，矿床中热液成因重晶石和硅质岩的存在，是矿区含矿岩系中Ba、SiO₂高含量的宏观表现；它们出现的地区，可能代表了矿液沉淀的边缘相，并暗示了沉积盆地边缘较为氧化的环境。

（四）黄铁矿的Co、Ni、S、Se含量及其比值

矿石中黄铁矿Ni含量区间为6.73~73.68ppm，平均35.79ppm，Co含量区间5.91~285.7ppm，平均96.07ppm，Co/Ni比值区间0.88~5.41，平均2.31；S含量49.93%，Se含量15ppm，S/Se比值为33286.7。

按一般理解（徐国风等，1980），本矿区Co/Ni>1的黄铁矿属于内生热液成因，Co/Ni<1的黄铁矿属于同生沉积成因，而S/Se比值落于25~50万之间，表明属沉积成因。在同一矿区同时出现Co/Ni>1和Co/Ni<1的黄铁矿，似乎是一个矛盾，但结合这些黄铁矿的空间分布情况考虑，可以得到比较好的解释。

矿区中部北侧的黄铁矿，其Co、Ni含量高，Co/Ni>1；矿区东部、西部及南部的黄铁矿，其Co、Ni含量低，Co/Ni比值在1附近甚至<1。联系前述有关矿石构造空间分布情况可以得到这样的概念，在喷流中心及其附近，黄铁矿的Co、Ni含量高，Co/Ni>1，而远离喷流中心，黄铁矿的Co、Ni含量及其比值降低，后者甚至降至<1。这种情况在世界著名的塞浦路斯矿床也有表现（童潜明，1986）。这是由于在内生热液喷出海底并在其上运移时，不断加入越来越多Co、Ni含量低、Co/Ni比值<1的海水所致。

（五）硫、铅、铋、氧同位素组成特征

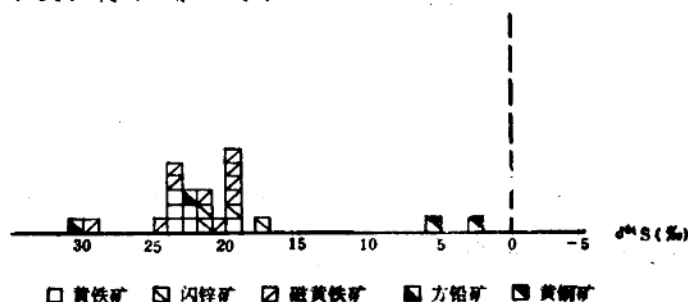


图3 东升庙矿区硫同位素组成

矿区硫同位素组成主要为大正值，塔式效应不明显，但数值趋向于在19~24‰区间集中（图3）。数值变化范围为2.1~30.1‰，变化范围大，平均组成为20.9‰，其中黄铜矿的硫同位素组成与其它金属硫化物明显不同，数值偏低，且距零值不远，说明矿区可能至少有两种硫源：黄铜矿的硫为深源，黄铁矿及其它金属硫化物的硫则主要来自海水硫酸盐的非生物还原。

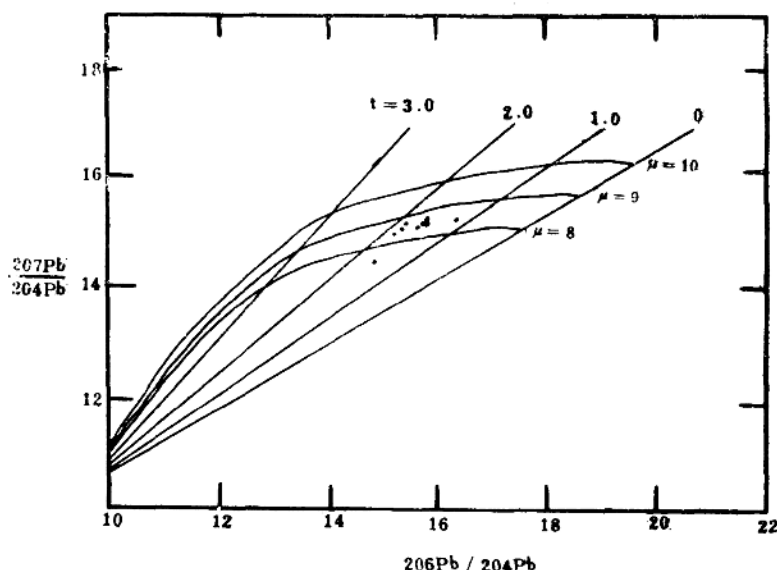


图4东升庙矿区铅同位素组成（按H·H单阶段模式）

根据李兆龙等（1986）的铅同位素数据进行的计算和作图（图4）表明，矿区铅同位素组成稳定，但含有一定量的放射成因铅，绝大部分矿石铅沿 $\mu = 8.50$ 的生长曲线演化，少量矿石铅则沿 $\mu = 7.16$ 的生长曲线演化。模式年龄为 $1668 \pm 80 \text{ Ma}$ ，与矿石赋存地层（狼山群第二组）的年龄基本一致。

李兆龙等（1986）将铅同位素数据投入B.R.Doe和R.E.Zartman的铅同位素环境图后发现，矿区铅同位素分布于地幔铅与造山带铅平均演化曲线之间，表明矿床的铅源有地幔铅和地壳铅两种。

对矿石中与成矿关系密切的脉石矿物进行矿物或矿物中包裹体氢氧同位素测定（表1）

表1 矿区氢氧同位素组成

序号	样号	测定对象	$\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}} \%$	$\delta\text{D}_{\text{H}_2\text{O}} \%$
1	DZK12/3-9	石英	12.6	-79.6
2	DZK5/24-B ₄	石英	2.3	-88.3
3	DDP7-4	黑云母	14.6	-61.33
4	DDP1-4	黑云母	10.9	-66.7
5	DZK103	金云母	5.0	-64.7

后发现, 石英的氢氧同位素组成总体上接近“正常”岩浆水范围, 但发生了一定程度的变异, 表明矿液是岩浆水与海水和/或大气水的混合溶液; 云母类矿物其氢氧同位素组成基本属于“变质水”范畴, 说明本区变质作用对成矿亦有一定贡献, 这与地质观察结果是一致的。

(六) 矿物中包裹体特征

总体来说, 本区矿物中包裹体分布不均匀, 以石英为例, 石英团斑、石英脉和粗粒矿石石英中的包体丰富, 而细粒块状矿石的石英仅在其边部有少量小包体; 包体大小不一, 变化范围为 $1 \sim 40 \mu$, 但闪锌矿中的包体一般较大, $5 \sim 10 \mu$ 者居多, 包体形态一般为椭圆形、长方形及不规则状。

包体类型有: (1) CO_2 气体 (可再分出五种类型) (2) 含子矿物包体 (3) 气体包体 (4) 气液包体 (5) 有机包体 (6) N_2 包体群, 其中以 (1) (2) 类占主要。 CO_2 包体大出见的原因是多方面的, 但本区主要反映 (1) 成矿环境具有生成 CO_2 的物质基础 (碳酸盐矿物的分解和丰富的有机质的氧化等), (2) 地幔去气所带来的 CO_2 , 即 CO_2 的深源。包体中的子矿物以 NaCl 为主, 也出现 KCl 或其它成份, 它是成矿溶液含盐度高的直观证据。

图 5 为矿区包体均一温度直方图, 可以看出, 本区均一温度是多峰的, 至少可分出 $110^\circ \sim 250^\circ \text{C}$ 和 $250^\circ \sim 450^\circ \text{C}$ 两个温度区间, 它们大致与海底喷流沉积成矿期和变质成矿期相对应, 另外, 镜下见到有在同一视域内气体包体和气液包体共存, 其均一温度相近的现象, 图 5 也显示出气体包体、子矿物包体和气液包体在一定温度区间重叠, 表明在一定温度范围内流体曾有过沸腾现象, 其温度大约在 $350^\circ \sim 370^\circ \text{C}$, 说明在喷流沉积成矿期间, 温度最高可能达到 370°C 左右。

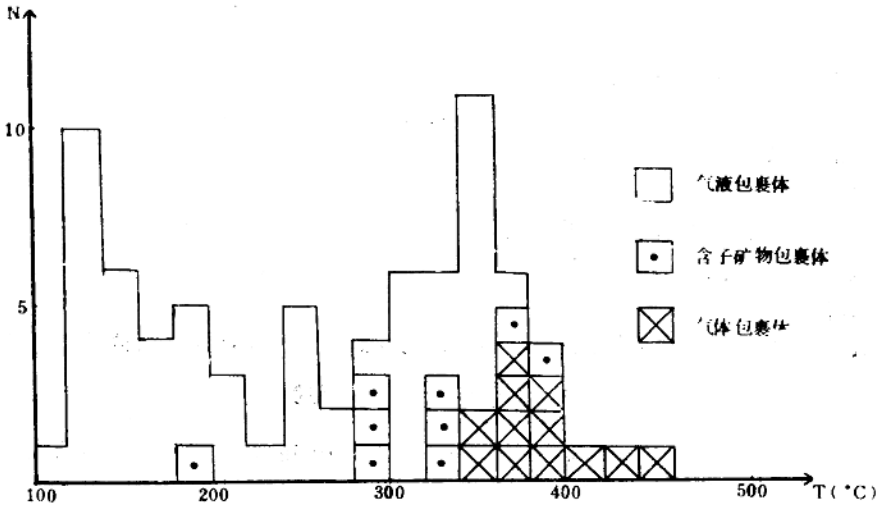


图5 东升庙矿区包裹体均一温度直方图

包体成份分析表明, 成矿流体属 $\text{Na}^+(\text{K}^+) - \text{Ca}^{++} - \text{Cl}^-$ 型。表 2 列出了主要根据包体成份数据计算出的有关成矿流体性质的各种参数。可以看出, 成矿流体以富 Na^+ 富 Cl^- 为特点, 盐度高, 密度大, 其在海底洼地的沉淀环境具弱酸弱碱偏弱碱性和还原—弱还原性质。

海底喷流沉积成矿作用机理初探

根据上述讨论,我们可以把东升庙矿床海底喷流沉积成矿作用机理设想如下:地幔去气、冷却中的地幔岩浆释放出的热液从深部上升,并在地壳浅部的海底卤水池与携带壳源重金属离子的高纯氯化物卤水汇合(后者主要通过海水淋滤下渗萃取海洋沉积基底—太古界地层中的重金属离子形成);当卤水池的温度、压力超过圈闭所能承受的限度时,同生断裂产生;掺合有一定量岩浆水的高纯氯化物卤水沿东升庙矿区北侧的同生断裂上升,并喷出到海底;在通道相及其附近有矿液沸腾和爆破作用发生,沉淀出的矿石以团斑状、角砾状构造

表 2 根据矿物中包裹体研究计算的参数

参 数	数 值 范 围	平 均 值
Na/K	1.70~16.55	7.04
Na/Ca + Mg	2.28~10.63	7.62
F/Cl	0.08~0.54	0.21
PH	6.62~8.16	7.39
Eh	-0.67~-0.85	-0.76
R	0.09~0.2	0.12
盐度 wt %	33~39	36
密度 g/cm ³	1.05~1.12	1.09

注: $R = \frac{CO + H_2 + CH_4}{CO_2}$, 为还原参数

居多,其中的黄铁矿具有Co、Ni含量高、Co/Ni>1的特点,热液顺坡流动,逐渐进入东升庙盆地,后者为低温、弱酸—弱碱、还原和较宁静的环境,故矿液中的大量重金属离子开始沉淀,此一过程沉淀的矿石,主要为条带状、层纹状、结核状以及星散状构造,其黄铁矿的Co、Ni含量较之通道相为低,Co/Ni比值也逐渐降低,直至<1;成岩作用使金属离子(主要是Pb和Zn在垂向上的)重新迁移分配,金属硫化物纹泥结晶富集,最终完成了矿床的海底喷流沉积成矿作用。

本研究工作曾得到内蒙有色地质勘探公司一队和内蒙化工地质队的帮助,昆明工学院冉崇英教授、本所姜齐节、施林道高级工程师也给予了指导,在此深表谢意。

参 考 文 献

- (1) D.F.桑斯特, (1985), 韩发等整理, 层控贱金属矿床及其成矿作用, 国外矿床地质增刊。
- (2) 刘仁福, 汪壁忠等, (1984), 内蒙古中部早元古代的沉积—构造环境及含矿建造, 天津地质调查所所报, 1期, 47~65页。
- (3) 李兆龙、许文斗、庞文忠, (1986), 内蒙古中部层控多金属矿床硫、铅、碳和氧同位素组成及矿床成因, 地球化学, 1期, 13~22页。
- (4) 童潜明, (1989), 黄铁矿的钴镍比值对矿床成因意义的讨论, 矿产地质研究院学报, 3期, 6~9页。
- (5) 徐国凤、邵洁莲, (1980), 黄铁矿的标型特征及其实际意义, 地质论评, 第26卷, 6期, 541~546页。

中国东北部两个金矿带的 划分及其意义

祝新友 缪远兴

中国东北部是我国传统的产金地，金矿床种类繁多，成因复杂，多年来有过较深入的研究。我们通过综合研究和资料分析发现，根据区域成矿地质背景的不同和矿床地质地球化学特征的差异，可将这一区域的金矿床大体上划分出空间展布方向不同的两大金矿带，即东西向展布的“华北地台北缘金矿带”（简称北缘金矿带，下同）和北北东向展布的“佳木斯—胶东金矿带”（简称佳胶金矿带，下同），二者的成矿地质地球化学特征有较明显的差异。

一、两大金矿带及其区域成矿地质背景

北缘金矿带位于华北地台北缘，由乌拉山地区、大青山—张宣地区、冀东—辽西地区、清原地区和夹皮沟地区等金矿集中区组成。产于大兴安岭褶皱区南缘的少量金矿如二道甸子、撰山子、白乃庙属于另一矿带，不在本文讨论之列。华北地台北缘是长期活动的古大陆边缘，从早元古代—中生代都有活动，主要是中生代前。太古代变质岩发育，主要岩性有斜长角闪岩、变粒岩、各种片岩、片麻岩、麻粒岩、磁铁石英岩夹大理岩等，变质程度达中高角闪岩相，局部达超麻粒岩相（沈其韩等，1989），其原岩下部为一套厚层中基性火山喷出岩系、中间夹磁铁石英岩，中上部为中酸性火山沉积岩和正常海相火山沉积碎屑岩—碳酸盐岩建造，在五台运动期间受到较普遍的混合岩化。本区长期受到近南北向的挤压，形成很多近东西向展布的构造带，如康保—赤峰—开源断裂、集宁—赤城—承德—北票断裂等，它们控制着金矿的分布，尤其是很多近东西向的韧性剪切带的形成，造就了很多有巨大经济意义的金矿。前中生代还形成很多东西展布的侵入体，有些岩体本身就富集金，为后期进一步成矿创造了条件，如东坪金矿。中生代末，华北地台北缘重新活动，引起金的再度活化，形成一些金矿，它们多与燕山期花岗岩或火山岩有密切关系。

佳胶金矿带是郯庐大断裂以东由佳木斯—延吉地区、辽东—吉南地区、胶东地区等金矿集中区组成的北东向矿带，位于滨太平洋带内带，该区为中生代末活动大陆边缘。与成矿关系较密切的地层是太古界、中下元古界和中生代火山岩。胶东群变质岩主要岩性是各种片岩和片麻岩、透闪透辉岩夹少量大理岩，变质程度达中级角闪岩相；早元古界辽河群（集安群和老岭群）含较多的碎屑沉积物，多为片岩和片麻岩，夹部分大理岩和透闪透辉岩。佳木斯地区的麻山群与此相似，据《吉林地质志》，麻山群（黑龙江群）与吉南之集安群属同一层位。受到太平洋板块的俯冲，胶东、辽南和佳木斯隆起等地发生了强烈的混合岩化，且多形成于燕山期，本矿带大量的金矿化即与此有关，金矿多产于混合花岗岩中，尤其是胶东地区，燕山期形成很多北北东—北东向断裂构造，它们直接控制了金矿的展布。延吉—佳木斯地区，大量的金矿化与中生代的火山次火山活动有关，形成一些火山岩型、斑岩型和矽卡岩型矿床。本区

与变质岩直接有关的金矿主要是产于中下元古界辽河群（集安群、老岭群）中的金矿，姚凤良（1988）的研究认为，产于辽河群中的四道沟金矿与产于混合花岗岩中的五龙金矿具有相同的热液来源和近似的成因，都与三股流侵入岩有关，王义文（1991）对集安金厂沟金矿的研究也有类似的结论，即岩浆期后热液成矿。

上述分析表明，由于两大金矿带所处地质构造部位不同，地质演化历史各异，金的成矿作用表现出不同的特点：北缘金矿带经历了多旋回的构造运动，故其金的成矿作用也具多期性，矿床类型多样化；佳胶金矿带主要受太平洋板块俯冲的影响，金的成矿作用主要发生在燕山期，金矿床类型较为单一。

二、两大金矿带某些地质地球化学特征的差异

中国北东部两大金矿带不仅在区域成矿地质背景上表现出很大的不同，而且在矿床地质地球化学的诸多方面表现出较明显的差异，限于篇幅，本文仅讨论两大金矿带矿床地质、自然金成色、硫、铅同位素组成等方面的差异。

（一）矿床地质特征的差异

如前所述，北缘金矿带经历了漫长的活动历史，形成的金矿具多期性和多类型。就类型而言就有与韧性剪切带有关的金矿、与花岗岩有关的金矿、与碱性岩和铁镁质岩有关的金矿等。矿石类型除石英脉型和石英破碎带型外，还有韧性剪切带型、钾长石石英脉型等。由于受东西向深大断裂构造的控制，矿田多为近东西走向，很多矿体也为东西走向，矿体常呈复脉出现，在厚大的乳白色石英脉体中有晚期含金石英脉穿插，且前者破碎，显示二者形成时间相距较长，甚至是不同期构造的产物。矿石都为贫硫型，金属矿物绝大部分都为黄铁矿、磁黄铁矿，其它矿物含量很少，金主要呈独立矿物存在，很多矿床中出现白钨矿、黑钨矿、辉钼矿等高温矿物。

佳胶金矿带的金矿均形成于燕山期，成矿与中生代大规模的混合岩化及岩浆-火山活动有关，矿石类型主要是石英脉型和含金蚀变破碎带型，矿床的形成和分布受中生代北东-北北东向构造控制。虽然玲珑金矿田存在矿脉分枝复合现象，但总的来说，佳胶金矿带中矿体主要呈单脉状，不同成矿阶段矿石构成完好的分带，显示它们形成于同一构造成矿期。矿石多为富硫型块状硫化物型矿石，金大部分呈超显微粒状分布于黄铁矿中，部分呈独立矿物形式。矿物成分复杂，除黄铁矿、磁黄铁矿、方铅矿、闪锌矿和黄铜矿外，大量出现毒砂（老柞山），辉铋矿（五龙），白铁矿（团结沟）等，钨钼矿物仅偶见于少量矿床中。

（二）自然金成色的差异

影响金矿床自然金成色的因素较多，主要有矿床形成的温度、深度和形成时代等，矿床成因也直接影响金的成色，另外金成色还受围岩岩性的影响（Boyle, 1984）。

将不同矿床自然金成色的算术平均值，作直方分布图（图1），显然，北缘金矿带与佳胶金矿带矿床自然金成色有明显差异。前者较高，但后期强烈的改造活动可能降低自然金的成色，如冀东地区一些与花岗岩和火山岩有关的金矿床：峪耳崖723，小营子688，柏杖子690，红石砬子688等。佳胶金矿带金的成色相对较低，在700—800之间集中。其中产于下元古界变质岩中的金矿成色较高，产于花岗岩和火山岩中的矿床成色较低。

矿床地球化学研究表明，二矿带成矿物理化学环境相似，金均沉淀于中温中低压条件，造成二矿带金成色差异的主要原因是形成时代和矿床成因。从世界范围看，形成于前寒武纪

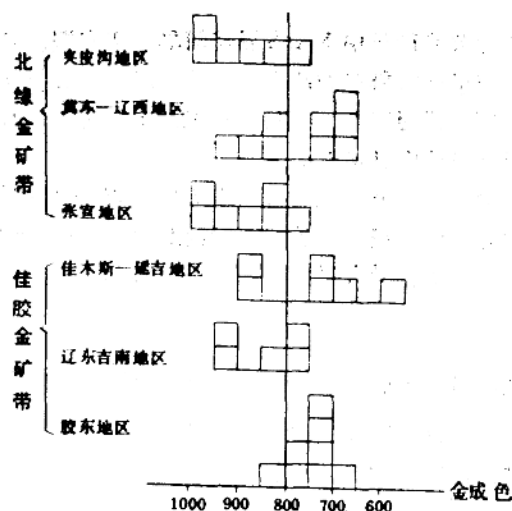


图1 两个金矿带矿床自然金的成色分布直方图

变质作用的绿岩型金矿一般具有较高的金成色,多在900以上;而环太平洋浅成低温贵金属矿床较低,多在500—900之间,除产于碎屑岩中的卡林型金矿外,中生代末-第三纪的浅成低温热液矿床均具较低金成色。从这层意义上讲,北缘金矿带具有前寒武纪绿岩金矿特征,佳胶金矿带具中生代末-第三纪贵金属矿床特征。尤其是后一矿带中有些银矿床与金矿床密切伴生,二者形成时代,物质来源及矿床成因相同或相似,属同一成矿系列不同阶段分异的产物(陈光远,1990)。夹皮沟金矿田金的成色798-971,平均890(六个矿床),是所有矿田中成色最高者,单从这方面看,该矿田应属北缘金矿带,而与佳胶金矿带有明显差异。

(三) 硫同位素组成的差异

研究区金矿硫的来源与围岩关系密切,尤其是太古界变质岩。据前人研究结果,胶东群 $\delta^{34}\text{S}=7.4\%$ (王义文,1982),辽河群 8.7% (王义文,1988),鞍山群 2% (王义文,1988),迁西群和桑干群 $\delta^{34}\text{S}$ 多在 $0-3\%$ 之间(王郁,1990;王义文,1988;余昌涛,1988)。

矿床硫同位素频率图(图2)系取每个矿床 $\delta^{34}\text{S}$ 算术平均值组合而成。取值时有两点考虑:①一些矿床因低温高氧化条件的影响有强烈的硫同位素分馏,故取早阶段硫化物反映初始热液的硫同位素组成,如团结沟取 $\delta^{34}\text{S}=1.8\%$ (刘文达,1987);②主要矿石类型,如柏杖子金矿床 $\delta^{34}\text{S}$ 值分两组,产于变质石英砂岩中的金矿体 $\delta^{34}\text{S}=8.1-12.9\%$,平均 9.8% ,产于花岗岩中的矿体 $\delta^{34}\text{S}=1.0\%$,但矿体主要产于花岗岩中,储量占 80% 以上,故取 1.0% 作为初始热液的 $\delta^{34}\text{S}$ 值。

可以看出,两个矿带硫同位素组成有明显的差异,佳胶金矿带硫同位素组成较为集中, $\delta^{34}\text{S}$ 值普遍较高;北缘金矿带组成分散,总体 $\delta^{34}\text{S}$ 较小,尤其是出现较多的负值。同一矿带内情况也较复杂。佳胶金矿带硫同位素大体可分两组, $\delta^{34}\text{S}=5.5-13\%$ 和 $-2-5.5\%$,辽东吉南产于辽河群中的金矿和胶东金矿相近, $\delta^{34}\text{S}$ 较高,延吉-佳木斯与火山次火山有关的矿床 $\delta^{34}\text{S}$ 较低,多在 $1-5\%$ 之间;北缘矿带可分为 $\delta^{34}\text{S}>0\%$ 和 $\delta^{34}\text{S}<0\%$ 两组,夹皮沟矿田最高, $\delta^{34}\text{S}=2.9\%$,冀东和张宣地区较低,且较分散。

与矿床附近围岩相比,夹皮沟、胶东、辽河群中的金矿以及延吉地区火山岩中的金矿床 $\delta^{34}\text{S}$ 有所增高,热液浸取围岩中硫的过程中,相对地富集了 $\delta^{34}\text{S}$ (王义文,1988)。

矿石 $\delta^{34}\text{S}$ 受多种因素影响,主要有原岩同位素组成,成矿作用方式,热液物理化学条件等。低温高氧化条件将导致硫化物 $\delta^{34}\text{S}$ 值远低于成矿热液总体 $\delta^{34}\text{S}$ 的水平(Ohmoto,1972);另外,随矿床时代从老到新,黄铁矿的硫同位素组成逐步减轻(A.H.别列夫采夫,1989)。

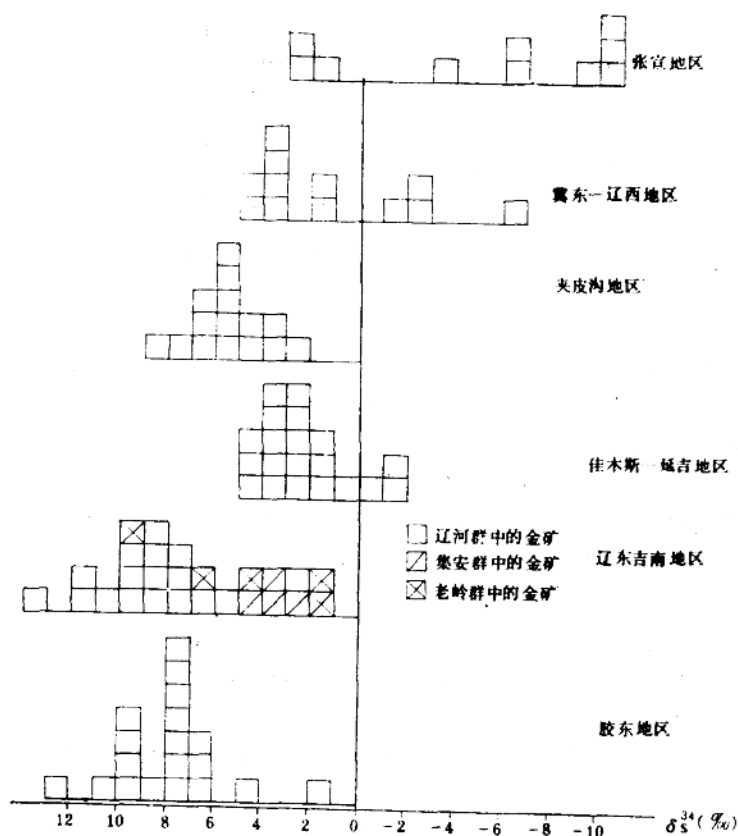


图2 中国东北部金矿床硫化物的硫同位素组成

北缘金矿带分散的硫同位素组成反映硫演化历史复杂,不同矿床的成矿方式和成矿热液性质差异较大,用一次地质作用解释是不够的。北缘金矿带太古界围岩之 $\delta^{34}\text{S}$ 值均为不大的正值(0—3‰),夹皮沟有所增高,冀东地区较低,张宣地区最低最分散,与国外同类矿床相比,夹皮沟地区和冀东地区的金矿相似于绿岩中改造微弱的矿床,如Homstock,津巴布韦的金矿 $\delta^{34}\text{S} = -0.7 \sim 7\text{‰}$,变化范围小,张宣地区更类似于后期改造的矿床,如赫姆洛金矿和金英里金矿, $\delta^{34}\text{S}$ 分散且极低,金是从部分氧化的溶液中沉淀的(R.G.罗伯茨,1988)。

对金厂峪和小营盘金矿床石英中流体包裹体作均一法测温(表1),实验是在KH-600冷热台上进行的,误差 $\pm 1^\circ\text{C}$ 。显然,小营盘金矿床(张宣地区)形成温度低,并出现磁

铁矿等反映成矿热液具低温高氧化条件, 必然导致硫化物强烈富集 $\delta^{34}\text{S}$ 。因此从硫的发展历史看, 冀东与张宣地区硫的初始来源是相似的, 与夹皮沟地区存在明显差异。

表 1 金厂峪和小营盘金矿床含金石英脉石英中流体包裹体均一温度

样 号	矿 床	测 定 数	温度范围 ($^{\circ}\text{C}$)	平均温度 ($^{\circ}\text{C}$)	最佳温度 ($^{\circ}\text{C}$)
JC-2	金 厂 峪	15	①327—360	348	340
			②450—503	492	487
JC-3	金 厂 峪	15	①201—241	218	223
			②253—294	284	287
			③380—425	416	416
JC-4	金 厂 峪	10	256—291	272	276
xy-1	小 营 盘	10	158—184	174	170
xy-2	小 营 盘	10	140—156	148	151
xy-3	小 营 盘	10	150—170	158	161

矿床同位素组成说明佳胶金矿带金成矿作用较为单一, 强烈的混合岩化作用引起胶东金矿硫同位素组成均一, 并与胶东群一致, 与南朝鲜地区的中温中浅成金矿 (Chil-Sup So and Kevin L. Shelton, 1987) 是类似的; 吉北与火山次火山岩有关的金矿硫明显受幔源影响, 火山岩本身即具有深部来源和较低的 $\delta^{34}\text{S}$ 值, 辽河群中的金矿床 $\delta^{34}\text{S}$ 较高、与围岩相当; 老岭群、集安群中的金矿床 $\delta^{34}\text{S}$ 较低, 矿床 (金厂沟、错草等) 多产于燕山期花岗岩边部, 明显受岩体影响, 部分硫源自岩浆。同时, 这些矿床中出现辉锑矿、方铅矿、闪锌矿等低温矿物组合, 近矿围岩发育重晶石化 (侯启满, 1989), 与产于碎屑岩中的浅成低温热液矿床相似, 成矿热液呈低温高氧化态, 形成低 $\delta^{34}\text{S}$ 硫化物。因此, 总体上佳胶金矿带金矿床硫的演化历史接近于白垩纪-第三纪的中低温热液矿床。

(四) 铅同位素

由于铅同位素组成几乎不受温压条件的影响, 大多数矿床铅同位素组成非常接近, 本文取每个矿床的平均值来讨论, 为避免分析误差, 尽可能采用新近发表的数据。

图 3 表明, 二矿带铅同位素年龄值有较大差异, 北缘金矿带年龄较老, 铅很早就脱离母体, 晚期遭受改造作用; 佳胶金矿带年龄较新, 铅脱离母体时间晚, 同位素分布相对集中。特别是在单个矿田范围, 胶东地区因强烈的部分熔融花岗岩化作用, 引起花岗岩长石和矿石强烈铀亏损, 使燕山期形成的金矿具有 5—8 亿年的视年龄, 并无二阶段铅或混合铅的意义, 源岩胶东群变质岩在 $\mu = 9.62$ 的 U—Th—Pb 体系中演化 (祝新友, 1991)。吉北-佳木斯金矿田中铅同位素年龄小于 200 Ma, 这些矿床直接与燕山期幔源的火山次火山岩有关。麻山群与集安群相当 (吉林地质志, 1989), 晚于胶东群, 故金矿铅同位素年龄也晚于胶东金矿。产于辽河群、老岭群、集安群中的金矿其铅同位素是佳胶金矿带中变化最大者, 高 U/Pb 比值, 构成一条完整的直线, 辽河群中层控铅锌矿床落在这条直线上, 吉南集安群中的横路错草等地, 极端富含放射性成因铅, 矿物组分和围岩蚀变类似浅成低温热液条件, 这类矿床的铅来自围岩, 经淋滤作用形成, 类似北美的卡林金矿, 淋滤后的热液比源岩极大地富含放射性成因铅 (林尔为, 1985; Doe and Zartman, 1984)。五龙金矿和四道