

沉积喷流型矿化的岩石学证据 ——以大兴安岭南段黄岗和大井矿床为例^{*}

叶杰¹ 刘建明^{1**} 张安立² 张瑞斌¹

YE Jie¹, LIU Jianming¹, ZHANG Anli² and ZHANG Ruibin¹

1 中国科学院地质与地球物理研究所, 北京 100101

2 内蒙古林西大井银铜矿, 内蒙古林西县 025250

1. Institute of Geology and Geophysics Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China

2. Dajing Silver-Copper Mine, Linxi County, Inner Mongolia, Linxi 025250, China

2001-07-25 收稿, 2001-12-20 改回

Ye J, Liu JM, Zhang AL, Zhang RB 2002 Petrological evidence for exhalative mineralization: Case studies of Huanggang and Dajing deposits in the southern segment of the Da Hinggan Mountains, China. Acta Petrologica Sinica, 18(4): 585-592

Abstract Exhalative mineralizations are frequently associated with various types of exhalites that often provide important evidence for ore genesis. The southern segment of the Da Hinggan Mountains is a well-known tin-polymetallic metallogenic belt of North China where Jurassic-Cretaceous volcanic-plutonic rocks are widespread. Based on this fact, most of the ore deposits were regarded as epigenetic hydrothermal deposits in genetic connection with the Mesozoic magmatism. However, nearly 90% of the deposits occur in Permian strata implying a close relation between mineralization and Permian strata. Case studies were made on the Huanggang Fe-Sn deposit and the Dajing Sn-polymetallic deposit. In combination with geochemical data, detailed geological, fabric, petrographical and mineralogical studies on the exhalites associated with ores demonstrated that subaqueous exhalative mineralization did occur during the basin evolution at the Permian time in the southern segment of the Da Hinggan Mountains, which is ignored and poorly understood, but might be as important as the hydrothermal mineralization connected with the Mesozoic magmatism. The stratiform skarns in the Huanggang deposit presents a peculiar example of exhalites. The siderite-sericite chert in the Dajing deposit, regarded as Mesozoic rhyolite porphyry before this study, is a new type exhalite formed in a lacustrine basin and closely associated with sulfide ore characteristic of complex metal assemblage of Sn-Ag-Cu-Pb-Zn. Exhalite is apparently one of the most important petrological evidences for exhalative mineralization.

Key words Deposits of Sn-polymetals, Subaqueous exhalation, Stratiform skarn, Siderite-sericite chert, Petrological evidence, Southern segment of the Da Hinggan Mountains

摘 要 沉积喷流型矿床往往有各种喷流岩(热水沉积岩)的共生, 正确识别这些喷流岩经常能为认识矿床的成因提供关键证据。大兴安岭南段是我国北方著名的锡-多金属成矿区, 燕山期火山-侵入岩广泛出露, 因此认为区内矿床大都是与燕山期岩浆活动有关的热液矿床。但是, 区内近 90% 的矿床却产于二叠纪地层中, 显示了与二叠纪沉积地层的密切联系。本文以其中的黄岗铁-锡矿床和大井锡-多金属矿床为例, 对与矿石密切共生的热水沉积岩开展了系统的地质学、岩相学、矿物学和组构学研究, 并结合必要的地球化学数据, 证明大兴安岭南段在二叠纪沉积盆地演化过程中可能曾经有重要的水下热液沉积喷流成矿作用发生, 尽管历来被人们所忽视, 但其重要性可能并不亚于燕山期的岩浆热液成矿作用。黄岗矿床的层状砂卡岩与二叠纪海底火山活动关系密切, 是一种很具特色的喷流岩; 而被误认为是燕山期流纹斑岩的大井矿床菱铁绢云硅质岩可能是一种

^{*} 中国科学院知识创新工程重大项目(KZCX1-07)、国家自然科学基金(批准号 49873022)、科技部攀登预选项目(95-预-39)联合资助
第一作者简介: 叶杰, 男, 1960 年生, 硕士, 助理研究员, 沉积地球化学专业, E-mail: yejie@mail.cgeos.ac.cn

^{**} 通讯联系人: 刘建明, E-mail: jnliu@mail.cgeos.ac.cn

产在陆相断陷盆地,与锡铜铅锌银多金属矿化有关的新类型热水沉积岩。显然,与热水沉积喷流矿床紧密共生的热水沉积岩是认识该类矿床至为重要的岩石学证据之一。

关键词 锡-多金属矿床; 热水沉积; 层状矽卡岩; 菱铁绢云硅质岩; 岩石学证据; 大兴安岭南段
中图法分类号 P618.44; P611

大兴安岭南段是我国北方著名的锡-多金属成矿带,是中国东部著名的大兴安岭-太行山深大断裂带以及燕山期构造-岩浆活化带的重要组成部分。区内广泛分布燕山期陆相中-酸性火山岩和花岗质侵入岩,其次为二叠系火山-沉积岩系。区内矿床历来被认为是由燕山期岩浆活动有关的热液形成的,如火山-次火山热液脉型、矽卡岩型、斑岩型(张德全和赵一鸣,1993;杨志达和鲍修坡,1997;W. Liu *et al.*, 2001)。但是区内近90%的矿床却产在二叠纪地层中,且具有整合层状矿化和受沉积相带控制的特征,显示出与二叠纪沉积地层的密切联系。但近期工作显示,除了燕山期的热液成矿外,在二叠纪可能还有与沉积盆地演化有关的水下喷流成矿作用发生(J. Liu *et al.*, 2001a, 2001b)。我们选取其中的黄岗铁-锡矿床和大井锡-多金属矿床为例,对与矿石密切共生的矽卡岩(黄岗)和所谓的流纹斑岩(大井)开展了系统的地质学、岩相学、矿物学和组构学研究,并结合必要的地球化学数据,为可能存在的热水沉积喷流成矿作用提出了热水沉积岩的岩石学证据。

1 二叠纪沉积盆地演化与区域成矿特征

研究区隶属兴安地槽褶皱系的南段,东西向古亚洲洋构造域与北北向滨太平洋构造域在此强烈叠加。古亚洲洋是一个复杂的多岛洋系统,散布在大洋中的众多微陆块沿俯冲带相继与南(华北克拉通)、北(西伯利亚克拉通)两板块的增生大陆边缘对接碰撞,经历了复杂的盆地闭合、拼贴碰撞造山历史。本研究区在二叠纪时既具残留盆地性质,又显示活动大陆边缘火山岩弧的特征(张德全和赵一鸣,1993)。二叠纪岛弧型火山岩广泛发育,北东向延伸的弧间海槽和脊状隆起并列,沉积相变非常剧烈。斜贯全区的北东向黄岗断裂带控制了二叠纪沉积盆地的演化和火山活动的发育。二叠纪地层从下往上包括了:P1青凤山组浅海相复理石建造;P1大石寨组以安山质为主的海相熔岩、凝灰岩、夹正常沉积碎屑岩,相变非常剧烈,在黄岗梁一带的大石寨组下部还有较厚的细碧岩;P1哲斯组(即黄岗梁组)砂板岩夹大理岩和凝灰岩;P2林西组陆相砂岩、粉砂岩、泥岩夹火山岩(内蒙地矿局,1991,1996)。由于沉积相变剧烈,各组之间的接触关系也变化无常,从连续整合接触到具沉积间断的假整合,甚至微角度不整合都有报道,但整体上显示从海盆到湖盆连续演化的特征,火山活动也具向上减弱的变化特征。下述区域成矿特征显示了区内矿床与二叠纪沉积盆地的密切关系。(1)含矿主岩:尽管区内基岩出露面积以燕山期火山-侵入岩为主,

但区内90%的金属矿床却集中产出在二叠纪地层中(范书义等,1997)。(2)矿床区域分布:明显受二叠纪沉积盆地、沉积相带的控制,脊状隆起北西翼早二叠世沉积厚度大,火山岩和大理岩发育,其中蕴藏了本区铁、铅、钨锡金属储量的70%~80%,矽卡岩型矿床十分发育,而且矿床密集的黄岗和白音诺两个地段正好与下二叠统沉积厚度最大、火山岩最发育的两个沉降中心相吻合;南东翼的矿床则较少,且大多产在上二叠统地层中,以富铜为特征。(3)大多数矿床都以层状、似层状矿体为特征,而且显示与二叠纪围岩地层整合一致的产状(图1,图2)。(4)二叠纪地层具有高的成矿金属元素丰度,而且局部地段能见到接近矿石品位的层状富集(张德全和赵一鸣,1993)。

2 克什克腾旗黄岗锡-铁矿床

2.1 黄岗锡-铁矿床及其矽卡岩的宏观特征

黄岗锡-铁矿带产在脊状隆起的北西翼,区内出露下二叠统大石寨组安山-玄武质海底火山岩系和黄岗梁组的碎屑-碳酸盐岩系(图1)。直接赋矿岩石为绿帘岩、石榴石岩、辉石岩、凝灰岩、大理岩等,而且矿带的北西侧有燕山期花岗岩的侵入,因此一直认为是与燕山期花岗岩有关的接触交代矽卡岩型矿床(杨志达和鲍修坡,1997)。黄岗锡-铁矿床的铁矿石储量超过1亿吨,锡金属储量30余万吨,是一个锡-铁共生的大型-超大型矿床。

北东向黄岗断裂带斜贯全区,二叠纪地层的区域走向与断裂带一致。在大石寨组火山熔岩和黄岗梁组之间有一个较稳定的含磁铁矿和矽卡岩的层位,厚度(20~200m)和岩性组合均变化很大,以矽卡岩层、凝灰岩层(具不同程度的矽卡岩化和其它蚀变)和磁铁矿层为主,夹大理岩和其它碎屑岩层。锡-铁矿带顺层稳定延伸近20km,矽卡岩和磁铁矿呈整合的层状、透镜状产出(图1)。黄岗矿床铁锡共生,铁以磁铁矿为主,矿石中的锡则并非是以可见的锡石颗粒产出,而是以微细浸染的形式分散于其它矿物(磁铁矿和矽卡岩矿物)之中,化学式推测可能是 H_2SnO_3 ,被称为“胶态锡”或“水锡矿”(杨志达和鲍修坡,1997)。也可能有部分 Sn^{4+} 取代 Fe^{3+} 进入磁铁矿晶格。少量的微细粒锡石则可能是胶锡矿重结晶的结果(与胶状磁铁矿一道重结晶)。黄岗矿床的非金属矿物则非常复杂,包括各种干/湿矽卡岩矿物、中性基岩的造岩矿物和蚀变矿物、方解石等碳酸盐矿物、以及萤石和磷灰石等,共四十余种(杨志达和鲍修坡,1997),可能反映了复杂的成矿演化史。

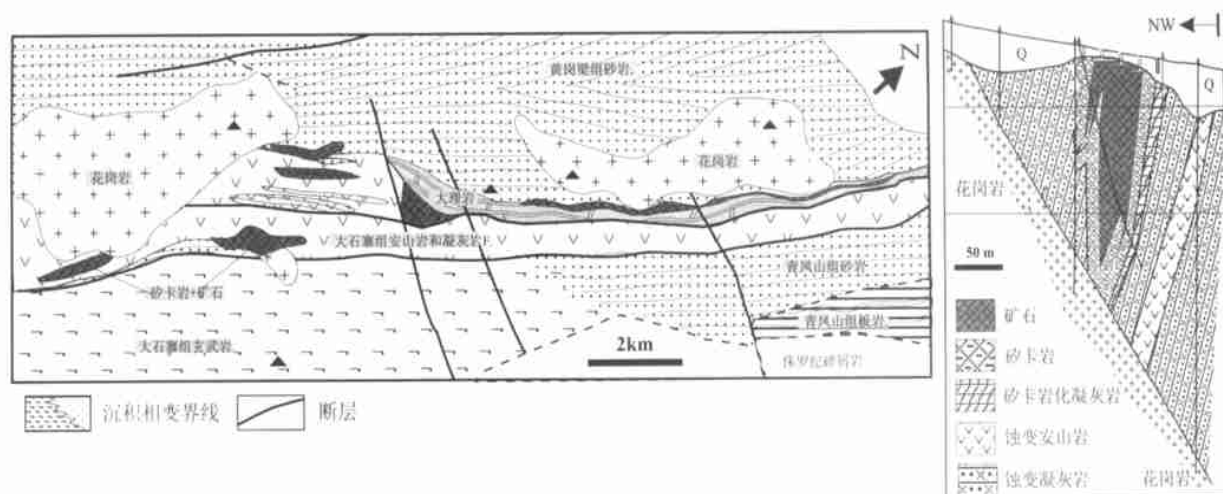


图1 黄岗矿田地质简图和勘探线剖面图

(根据内蒙古地质三队(1992)有关勘探资料编制)。注意矿体和砂卡岩体的层状-透镜状形态和与地层整合一致的产状。

Fig 1 Simplified geological map of the Huanggang area and cross-section of the iron-tin mineralization

2.2 矿石和砂卡岩的组构特征

(1) 层状-层纹状构造: 磁铁矿和砂卡岩矿物的层纹(图版 1a)与砂卡岩化凝灰岩层纹和大理岩纹层互层, 其产状与地层一致, 显示海底热水沉积的特征。有时还能见到这些层纹的软变形揉皱(图版 1b), 以及早期热水沉积物破碎后再沉积而成的碎屑机械沉积层理构造(图版 1c), 进一步表明其形成于成岩固结之前。但成矿后强烈的重结晶和其它改造作用经常使其模糊不清。

(2) 各种同生沉积角砾构造: (1) 砂卡岩(经常是钙铝榴石为主的砂卡岩)角砾(图版 1c), 角砾边缘经常被磁铁矿晶体围绕(图版 1e)。(2) 磁铁矿角砾, 出现在白色大理岩中的磁铁矿角砾特别引人注目(图版 1d)。这两类角砾大小不一(直径从 2~ > 200 mm), 棱角分明, 无分选无定向(图版 1c-e), 即可出现在砂卡岩层/磁铁矿层中也可出现在大理岩层中, 很可能是水热喷发/爆炸成因。(3) “竹叶状”的粗粒砂卡岩角砾在细粒砂卡岩/磁铁矿层中顺层分布(图版 1f), 与沉积灰岩中的“竹叶状”灰岩相似, 属内碎屑沉积。

(3) 磁铁矿变胶状胶球构造: 磁铁矿常形成不同尺度的胶球(直径数-数十厘米)(图版 1f, h), 其内部具完美的同心壳层构造(图版 1g), 经重结晶后磁铁矿呈径向延伸的针状晶体, 晶体之间为针状磷灰石, 而各壳层之间则多为方解石(图版 1g, i, j)。如同玄武岩枕一样, 胶球相互叠置, 胶球之间的空间常充填具晶洞特征的粗大磁铁矿和方解石晶体(图版 1f, h)。胶球内部的方解石和胶球之间的晶洞状方解石显示截然不同的碳氧同位素特征, 可能是不同阶段的产物。磁铁矿常显示自形完美的粗粒晶体, 但在反光显微镜下则能清楚地观察到, 这些自形晶粒实际上是由很多微细粒磁铁矿重结晶长大而成的, 因此其内部总是千疮百孔(图版 1k), 表明

磁铁矿的胶状组构曾经非常普遍, 尽管大多由于高度重结晶而不复存在。所有这一切都很难用高温岩浆热液的交代作用来解释, 而更可能是喷流热液快速注入海底时被海水骤然冷却所至, 并与锡的微细浸染形式相呼应。

2.3 讨论

在黄岗矿床, 锡-铁矿化呈带状顺地层稳定延伸近 20km, 而非围绕某侵入体产出(图 1)。燕山期花岗岩并无砂卡岩化(亦即缺乏所谓的“内砂卡岩”), 即使花岗岩与砂卡岩/铁矿体直接接触而且在接触带断裂发育也是如此(图 1 中的剖面), 因此地质队钻探施工时常将花岗岩作为终孔的标志。与花岗岩有关的细晶岩脉清楚地穿切了锡-铁矿层, 与其有关的岩浆热液矿化为含粗晶锡石的石英脉(具云英岩化、硅化和黄玉化), 与早期锡-铁矿体中锡的微细浸染形成鲜明对比。

砂卡岩可以由不同的地质作用形成(Einaudi *et al.*, 1981), 砂卡岩一词最早就是指瑞典中部铁矿区由灰岩经区域变质生成的粗粒钙硅酸盐矿物, 不显示任何与花岗质侵入体的关系(Magnusson, 1960)。海底热水沉积(喷流)作用能形成整合层状的砂卡岩层, 如瑞典 Grythyttan 地区的含锰砂卡岩(Oen *et al.*, 1986), 东澳 Ban Ban 含锌砂卡岩(Stanton, 1987), 我国西藏甲马铜多金属矿床(杜光树等, 1998)。我国长江中下游石炭-二叠纪碳酸盐地层中的众多砂卡岩型矿床, 也不断有喷流成因砂卡岩与岩浆热液成因砂卡岩的争论(周涛发等, 2000)。同时, 在现代地热系统中发现了大量钙-铁硅酸盐矿物, 为砂卡岩的喷流-沉积成因提供了自然实验室证据(Bird *et al.*, 1984)。可见, 热液喷流沉积作用生成层状砂卡岩可能是地质历史上的一种普遍现象。

二叠纪火山熔岩和凝灰岩普遍发育较强烈的网脉状蚀

变,从矿区直到远离矿区十多公里,是一种区域性的蚀变。网脉无一定方向,粗细不一,但都显示明显的“褪色”化,可能反映了原岩中铁质被带出。X-衍射和显微镜研究确认蚀变产物以阳起石、辉石和 SiO_2 为主。众所周知,现代洋底玄武岩往往具有特征性的洋底水岩反应(蚀变),是海水热对流体系的产物,由此演化出的富金属成矿流体被认为是现代洋底活动热液成矿系统的主要流体补给源之一(如 Seyfried and Bischoff, 1979)。从蚀变的区域分布、组构特征和蚀变矿物组合多方面对比,二者具有相似性。在大兴安岭南段,早二叠世盆地有两个火山活动最发育的沉降中心,即黄岗梁和白音诺,分别对应着研究区内两个最大的矿床集中区。因此推测,与早二叠世岩浆活动有关的热事件引发大规模的海水热对流在年青(而且裂隙发育)的火山岩中留下了普遍的网脉状蚀变,而由此演化成的富铁热液沿北东向的黄岗断裂带集中排放时就形成了北东向延伸近 20 公里的、顺层整合的黄岗砂卡岩-锡铁矿带。

我们的研究尽管没有证实,但也没有排除燕山期岩浆热液成因砂卡岩存在的可能性。然而鉴于燕山期花岗岩含铁很低,除非有大规模的深部分异,很难提供如此大量的铁。因此,磁铁矿可能主要由二叠纪海底喷流(热水沉积)作用形成

(与高铁的二叠纪玄武岩-安山岩有关)。黄岗矿床的层状砂卡岩与含微细浸染胶状锡的磁铁矿层共生,是一种很具特色的喷流岩。

3 林西县大井锡-多金属矿床

3.1 大井矿床热水沉积岩的矿物组成和组构特征

在大井矿床, Sn-Ag-Pb-Zn-Cu 多种元素共生且均达大型规模。矿体呈薄脉状产在上二叠统林西组陆相黑色细/粉砂岩、板岩地层中。矿体的产状在矿床中部经常与地层产状大体一致(图 2),而向外则变为以穿层矿脉为主。矿区内无大的岩浆侵入体,但有很多燕山期次火山岩脉并被矿脉所穿切,因而被认为是次火山热液矿床(张德全和赵一鸣, 1993; 杨志达和鲍修坡, 1997)。矿床中部的 1 号和 10 号矿体与次火山岩脉关系最密切,均以浅色流纹斑岩脉为直接顶板,且岩脉内也有矿化,因此被选为本次研究的主要对象。本次研究确认这些流纹斑岩实际上是热水沉积岩(后文统一改称热水沉积岩),乃是在早二叠世陆相沉积盆地中沉积下来的,与侏罗纪的火山岩浆活动无关。矿体及其顶板的热水沉积岩都呈层状且与林西组地层基本整合(图 2)。

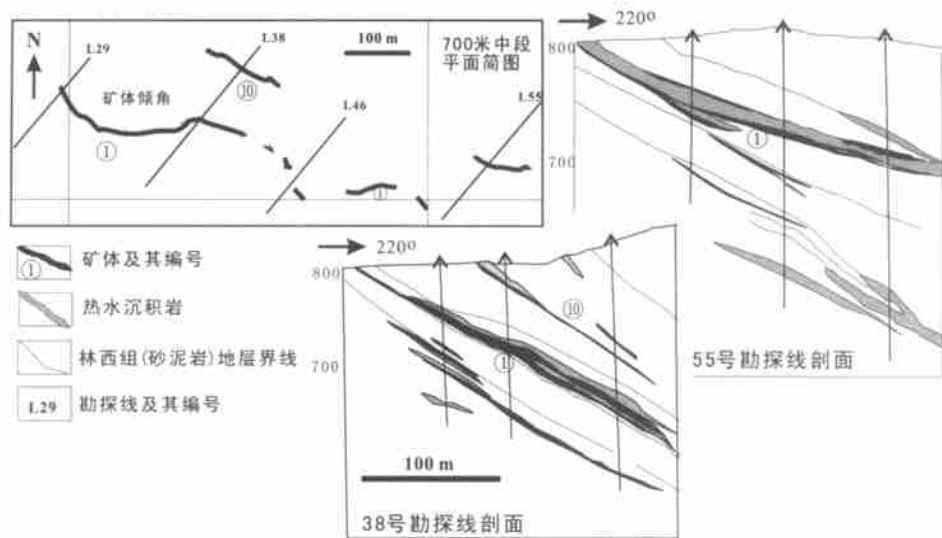


图 2 大井矿床中部 1 号和 10 号矿体 700 中段坑道平面图以及两条勘探线剖面图

表示矿体、热水沉积岩、林西组围岩地层三者之间的关系(根据华北有色地勘局勘探资料和大井银铜矿有关资料编制)

Fig. 2 Underground mapping (700 m level) and two cross-sections of the orebodies No. 1 and No. 10 in the central part of the Dajing deposit, showing the relationship of orebodies, exhalites, and host lithologies

系统的显微镜、X-衍射和电子探针研究表明,大井矿床热水沉积岩的主要矿物相是石英,其次是菱铁矿和绢云母(因此称为“菱铁绢云硅质岩”),还有少量绿泥石、硫化物(黄铁矿、毒砂、闪锌矿等)和锡石。菱铁绢云硅质岩显示沉积-成岩成因的完美组构特征,由于围岩地层蚀变微弱(即使在热水沉积岩内部的围岩角砾也是如此),用岩浆贯入结晶或后

生热液充填交待均无法解释。1) 层状-层纹状(厚 0.1~15 cm) 组构,显示层理的原因是矿物组成的变化(较纯的石英纹层、菱铁矿纹层、或相对富集粘土/菱铁矿/硫化物的纹层)、颗粒粗细的变化、外来组分(角砾)的加入、甚或水下冲刷面的出现(图版 II-b-g),并常见成岩软变形(图版 II-b, e)。2) 同生沉积角砾构造:角砾(砾径 0.1~8 cm)成分复杂,以林

西组黑色砂板岩为主,但也见石英、硫化物,甚或热水沉积岩自身的角砾,棱角分明,长轴无定向,常垂直层面使层理在压实过程中发生弯曲并有压力影现象(图版 II-g);角砾并非均匀散布,而是集中在一定的层的底部(常与水下冲刷面在一起)(图版 II-c)。显然,同沉积角砾、水下冲刷面(图版 II-c, 4d)、软变形的普遍存在和多层性指示了盆地同沉积期频繁的水热爆发(喷流)和强烈的构造活动。3)富含微细粒菱铁矿的细层-纹层经常发生压溶而形成类似灰岩中缝合线的构造(图版 II-f),缝合线绕石英颗粒或角砾,是一种典型的成岩结构。4)常见一种硅质球粒,可能类似于许多热水沉积硅质岩中的球状硅质胶粒(韩发等, 1997)或 Augustithis (1982) 的热水成因鲕粒。5)水下冲刷面之上时见沉积粒序现象(图版 II-c-d)。

3 2 大井矿区菱铁绢云硅质岩的地球化学特征

对应于三种主要矿物相,大井矿区热水沉积岩的化学组成明显以四种氧化物为主(表 1), SiO_2 对应于石英, Al_2O_3 和 K_2O 对应于绢云母, Fe_2O_3 对应于菱铁矿。与矿区流纹斑岩的主量元素组成十分相似,仅 SiO_2 略偏高, Al_2O_3 略偏低(表 1)。与区域流纹岩平均值相比则 Na_2O 显著偏低。热水沉积岩的稀土元素特征为, LREE 相对富集, 轻度负铕异常, ΣREE 多在 80~ 120 $\mu g/g$ 之间, 球粒陨石标准化的稀土配分曲线显示 LREE 右倾, HREE 较平坦的特征。矿区的流纹斑岩显示大体类似的 REE 特征, 但没有负铕异常, 且稀土配分曲线全线右倾(表 1, 图 3)。

表 1 大井矿区热水沉积岩(菱铁绢云硅质岩)的岩石化学组成(%)和稀土元素丰度($\mu g/g$)

Table 1 Bulk rock chemistry (%) and REE contents ($\mu g/g$) of exhalite in the Dajing deposit

样品	块状			层纹状				流纹斑岩	各氧化物 分析精度 ($\pm\%$)	区域流纹 岩平均* (n= 147)
	Djy-17	Djy-31a	Djy-32	Djy-18	Djy-20	QG972205	QG972206	Djy-30		
SiO_2	77.93	77.72	81.23	77.58	78.43	78.59	76.51	73.53	0.1468	73.81
TiO_2	0.15	0.09	0.09	0.08	0.09	0.09	0.07	0.50	0.0071	0.23
Al_2O_3	11.70	12.97	12.50	12.57	12.58	11.87	10.98	14.88	0.0609	13.45
Fe_2O_3	3.38	3.01	0.90	4.62	3.21	3.51	7.33	3.33	0.0892	2.61
MnO	0.09	0.05	0.02	0.09	0.06	0.07	0.13	0.02	0.0009	0.04
MgO	0.37	0.39	0.21	0.37	0.41	0.41	0.48	0.99	0.0311	0.34
CaO	0.15	0.11	0.08	0.10	0.12	0.13	0.11	0.32	0.0139	0.99
Na_2O	0.08	0.06	0.05	0.08	0.08	0.06	0.09	0.10	0.0309	3.78
K_2O	3.28	3.54	3.41	3.42	3.42	3.26	3.04	3.52	0.0133	4.63
P_2O_5	0.03	0.02	0.01	0.01	0.02	0.02	0.01	0.17	0.0034	0.12
总量	97.15	97.96	98.50	98.93	98.42	98.00	98.76	97.35		100.00
La	19.82	28.68	26.17	23.09	18.42	28.34	9.96	27.51		
Ce	39.20	55.67	49.66	45.12	35.49	56.19	20.04	55.53		
Pr	3.88	5.55	5.01	4.56	3.66	5.84	2.05	5.88		
Nd	13.84	18.72	16.88	14.77	11.83	19.17	7.22	20.60		
Sm	2.54	3.32	2.94	2.52	2.41	3.21	1.42	3.83		
Eu	0.50	0.52	0.57	0.31	0.50	0.58	0.25	0.92		
Gd	1.96	2.52	2.27	1.99	1.98	2.77	1.40	2.74		
Tb	0.38	0.36	0.40	0.30	0.30	0.39	0.26	0.36		
Dy	2.15	1.98	2.33	1.84	1.76	2.14	1.75	1.87		
Ho	0.45	0.37	0.41	0.39	0.34	0.39	0.37	0.33		
Er	1.37	1.06	1.31	1.13	1.01	1.16	1.06	0.94		
Tm	0.23	0.18	0.23	0.18	0.15	0.17	0.17	0.13		
Yb	1.41	1.06	1.54	1.06	1.10	1.15	1.12	0.84		
Lu	0.20	0.19	0.24	0.18	0.17	0.20	0.17	0.10		
总量	87.91	120.17	109.96	97.44	79.11	121.70	47.24	121.60		

岩石化学组成由中国科学院地质与地球物理研究所 X-荧光室杨玉华和牛静静用 Shimadzu XRF-1500X-荧光仪测定;
稀土元素丰度由中国科学院地球化学研究所漆亮经常规酸溶制样后在 MAT Element 上测定。 * 内蒙古矿局, 1991。

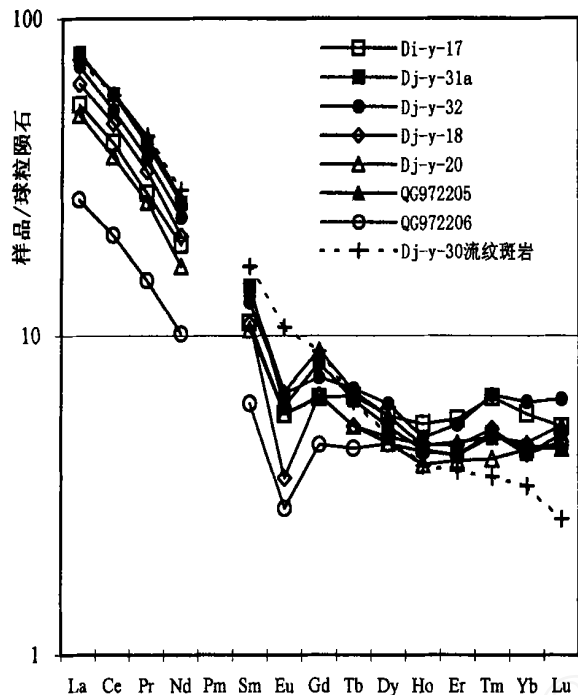


图3 大井矿床热水沉积岩稀土配分模式并与中生代流纹斑岩对比(数据见表1)

Fig. 3 REE pattern of exhalite in the Dajing deposit in comparison with rhyolitic porphyry

3.3 讨论

实际上, 林西矿区的上述热水沉积成矿特征曾经一度是人们议论的热点, 但后来被所谓的“次火山岩脉”所迷惑而销声匿迹。可见, 热水沉积岩的正确鉴别乃是认识大井矿床成因的关键所在之一。我们在坑道内多次观察到大井矿区确实存在穿切地层的流纹斑岩脉, 显示清晰的流纹构造和众多长石斑晶(图版 II-h)。这种流纹斑岩脉穿切矿体, 表明它是晚于矿体就位, 其宏观-微观特征和矿物组成均明显有别于上述热水沉积岩, 但若仅靠化学成分和其它地球化学指标则很难区别(表1和图3)。显然, 如果忽略了最基础的地质学-岩相学研究, 仅仅根据地球化学数据很可能将热水沉积硅质岩与中酸性岩岩混为一谈。大井矿区也有许多矿体呈穿切地层的脉状并显示明确无误的后生矿化特征。可能的原因有三: 1) 确实存在一期与燕山期火山岩浆活动有关的后生热液成矿作用; 2) 热水沉积喷流系统的通道相产物; 3) 热水沉积矿体经受了后期构造作用的强烈改造。因此, 本文肯定了二叠纪热水沉积成矿期的存在, 但并未否定燕山期次火山热液成矿的可能性。

林西盆地是一个陆相盆地, 矿区林西组赋矿地层显示浅水沉积的特征。我们知道, 对于一个水下的热液喷流成矿系统, 浅水环境下由于热液在通道内强烈沸腾将主要生成具后

生特征的脉状矿化, 整合层状矿化则相应较少(如 Large, 1983)。大井矿床流体包裹体均一温度集中在 150~200 °C, 包裹体流体盐度集中在 1.5%~8.0 wt% (王丽娟等, 2000)。从水的沸点曲线可以查出, 这样的水溶液在 60~120m 水深压力下将开始沸腾。这可能就是为什么在林西矿床整合层状的矿体和热水沉积岩只在矿床中部局部出现, 而大量的矿体则是穿层的脉状。近年来由于加拿大 British Columbia 省 Eskay Creek 矿床的发现, 人们提出了一个崭新的矿床成因模型——浅水热泉型矿床 (Shallow Subaqueous Hot Spring Deposits, Aldrick, 1995; Hannington, 1998), 认为是介于陆相热泉型矿床与海底块状硫化物矿床之间的过渡类型, 从而确认了在很浅的海水/湖水深度下也能出现喷流型矿化。而且在日本、新西兰等地的活动地热区发现了类似的现代实例 (Hannington, 1998; Roth *et al.*, 1999)。大井矿床的菱铁绢云硅质岩以石英为主密切共生菱铁矿和绢云母, 国内外文献中已经报道了很多不同类型的热液沉积岩 (Lehmann and Schneider, 1981; 韩发等, 1997; 陈先沛等, 2000) 但极少见类似者。因此, 菱铁绢云硅质岩可能是一种产在陆相断陷盆地、与锡铜铅锌银多金属矿化有关的新类型热水沉积岩。

Knight (1975) 率先提出澳大利亚著名的 Bischof 锡矿床可能是海底喷流成因, Lehmann 和 Schneider (1981) 明确提出层控锡矿床的概念, 随后在现代海底喷流沉积物中也频频发现锡的富集, 尤其是靠近大陆边缘有沉积物覆盖的海区 (如东太平洋 Gorda 海岭的 Escanaba, Morton *et al.*, 1994)。从而引起人们对锡的喷流成矿作用的广泛关注。在全球闻名的华南锡矿带和东南亚锡矿带内都有大量发现 (如, Schwartz 和 Surjono, 1990; 韩发等, 1997; 陈骏等, 2000)。但是, 对中国北方锡矿床的喷流成矿和层控性尚无人论及, 本文希望能够引起人们的关注。

4 结论

大兴安岭南段是我国北方著名的锡-多金属矿化集中区, 区内矿床历来认为是燕山期岩浆热液成因。本文的研究表明, 黄岗矿床的层状砂卡岩和大井矿床的所谓“流纹斑岩”都可能是热水沉积岩。因此除了燕山期的热液成矿外, 在二叠纪含矿地层沉积的同时可能还有一期与盆地演化有关的热液沉积成矿作用, 造成了区内矿床大多产在二叠纪地层内的时空分布特征和整合层状的矿化特征。可见, 热水沉积岩的正确识别往往是准确认识矿床成因的关键。

致谢: 野外工作得到大井银铜矿、黄岗铁矿、有色华北地勘局的支持, 并得到王丽娟、王玉往、王京彬、刘伟、储雪蕾、孙世华、仇艾夫、李宝代、漆亮、靳新娣、杨玉华、牛静静、覃功炯、H. Shimazaki、Akiyama, Kuruda, H. Fujimaki, Shiga, Kawachi, Honma, Uamoto 等同事的帮助, 谨致谢忱!

References

- Aldrick DJ. 1995. Subaqueous Hot Spring Au-Ag (G07). In: Lefebvre DV. and Ray GE (Editors), Selected British Columbia Mineral Deposit Profiles, volume 1 - Metallics and Coal, British Columbia Ministry of Employment and Investment, Open File 1995-20, pages 55-58
- Augustithis, S. S. 1982. Atlas of the sphaeroidal textures and structures and their genetic significance. Theophrastus Publication, Athens, 38-42
- Bird D K, Schiffrin P, Elders WA, Williams AE and McDowell SD. 1984. Calc-silicate mineralization in active geothermal systems. *Econ Geol*, 79: 671-695
- Chen J, Wang R, Zhou J, Ji J. 2000. Tin geochemistry. Nanjing: Press of Nanjing University, 1-320 (in Chinese with English abstract)
- Chen, X, Chen D and Li Y. 2000. Hydrothermal sedimentation and superlarge deposits, in: Chinese superlarge deposits (I). Beijing: Science Press, 154-184 (in Chinese)
- Du, G. 1998. Exhalative skarns and related ores—Case study on the Jiamia polymetallic deposit, Xizang. Chengdu: Sichuan Publishing House of Science and Technology, 214p. (in Chinese)
- Einaudi MT, Meinert L and Newberry RJ. 1981. Skarn deposits. *Econ. Geol*, 75th Anniv., 317-391
- Fan Shuyi, Mao Huaren, Zhang Xiaodong, Sun Xiuli, Li Ying. 1997. Stratigraphic geochemistry of Permian strata in the central Da Hinggan Mountains and its metallogenic significance. *Regional Geology of China*, 16(1): 89-97 (in Chinese with English abstract)
- Han F, Zhao RS, Shen JZ and Hutchinson RW. 1997. Geology and origin of ores in the Dachang tin-polymetallic ore field. Beijing: Geological Publishing House, 180p. (in Chinese)
- Hannington MD. 1998. Shallow Submarine Hot Spring Deposits, MDRU Short Course # 20 Cordilleran Mineral Deposit Models, Vancouver, January 28-29
- Knight CL. 1975. Mount Bischof tin orebody. In: Knight CL (ed.) *Economic Geology of Australia and Papua New Guinea*, I Metals. Australia Inst. Min. Metall., Monogr. Ser., 5: 591-592
- Large DE. 1983. Sediment-hosted massive sulphide lead-zinc deposits: An empirical model. In: Sangster DF (ed.) *Sediment-hosted stratiform lead-zinc deposits. Mineralogical Association of Canada Short Course Handbook*, 8: 1-30
- Lehmann B, Schneider H J. 1981. Strata-bound tin deposits. In: Wolf KH (ed.) *Handbook of strata-bound and stratiform ore deposits*. Amsterdam: Elsevier, 9: 743-768
- Liu J, Ye J, Zhang A, Wang Y and Jiang N. 2001a. A new exhalite type - siderite-sericite chert formed in fault-controlled lacustrine basin. *Science in China (Series D)*, 44: 1079-1088
- Liu J, Ye J, Li Y, Chen X and Zhang R. 2001b. A preliminary study on exhalative mineralization in Permian basins, the southern segment of the Da Hinggan Mountains, China - Case studies of Huanggang and Dajing deposits. *Resource Geology*, 51: 345-358
- Liu W, Li X and Tan J. 2001. Petrogenetic and metallogenetic background of the Dajing Cu-Sn-Ag-Pb-Zn ore deposit, Inner Mongolia, and characteristics of mineralizing fluid. *Resource Geology*, 51: 321-331
- Magnusson NH. 1960. Iron and sulfide ores of central Sweden. 21th IGC, Copenhagen, Excursion Guides A 26 and C 21, 1-48
- Morton JL, Zierenberg RA and Reiss CA (eds.). 1994. *Geologic, hydrothermal, and biologic studies at Escanaba Trough, Gorda Ridge, offshore northern California*. USGS Bull., 2022, 359p
- Oen IS, De Maesschalck AA and Lustenhouwer WJ. 1986. Mid Proterozoic exhalative sedimentary Mn skarns containing possible microbial fossil, Grythyttan, Bergslagen, Sweden. *Econ. Geol*, 81: 1533-1543
- Roth T, Thompson JFH and Barrett TJ. 1999. The Precious Metal-Rich Eskay Creek Deposit, Northwestern British Columbia; in *Volcanic-Associated Massive Sulphide Deposits: Processes and Examples in Modern and Ancient Settings*, Reviews in Economic Geology, 8: 357-373
- Schwartz MO and Surjono. 1990. The stratabound tin deposit Nam Salu, Kelapa Kampit, Indonesia. *Econ. Geol*, 85: 76-98
- Seyfried WE and Bischoff JL. 1979. Basalt-sea water interaction: trace element and strontium isotopic variations in experimentally altered glassy basalt. *Earth Planet. Sci. Lett.* 44: 463-472
- Stanton RL. 1987. Constitutional features and some exploration implications of three zinc-bearing stratiform skarns of eastern Australia. *Trans. Instn. Min. Metall. (Sect. B: Appl. earth Sci.)*, 96: B37-B57
- Wang L, Wang Y, Wang J, Jin X and Zhu H. 2000. Study of tin and copper metallogenetic fluid from Dajing deposit and its genetic significance. *Acta Petrologica Sinica*, 16: 609-614 (in Chinese with English abstract)
- Yang ZD and Bao XP. 1997. Geology and geochemistry of polymetallic deposits in the Huanggang-Ganzhuemiao area. In: *Metallogeny and prospective evaluation of copper-polymetallic deposits in the Da Hinggan Mountains and its adjacent regions*. Beijing: Seismological Press, 125-144 (in Chinese)
- Zhang D and Zhao Y (eds.). 1993. *A collection on the Cu-polymetallic deposits in the Da Hinggan Mountains and their adjacent areas*. Beijing: Geological Publishing House, 161p. (in Chinese)
- Zhou TF, Yuan F, Yue SC, Liu XD and Zhao Y. 2000. Two series of copper-gold deposits in the middle and lower reaches of the Yangtze River area (MLYRA) and the hydrogen, oxygen, sulfur and lead isotopes of their ore-forming hydrothermal systems. *Science in China (Series D)*, 43(Supp): 208-218

附中文参考文献

- 陈骏, 王汝成, 周建平, 季峻峰 2000 锡的地球化学 南京: 南京大学出版社, 1- 320
- 陈先沛, 陈多福, 李英 2000 热水沉积作用与超大型矿床 见: 中国超大型矿床(D). 北京: 科学出版社, 154- 184
- 杜光树等 1998 喷流成因矽卡岩与成矿——以西藏甲马铜多金属矿床为例 四川科学技术出版社
- 范书义, 毛华人, 张晓东, 孙秀丽, 李颖 1997 大兴安岭中段二叠系地球化学特征及其成矿意义 中国区域地质, 16(1): 89- 97
- 韩发, 赵汝松, 沈建忠, Hutchinson R W. 1997 大厂锡多金属矿床地质及成因 北京: 地质出版社, 1- 180
- 内蒙古自治区地质矿产局 1991 内蒙古自治区区域地质志 北京:

- 地质出版社, 1- 532
- 内蒙古自治区地质矿产局 1996 内蒙古自治区岩石地层 武汉: 中国地质大学出版社, 198- 244
- 王丽娟, 王玉往, 王京彬, 靳新娣, 朱和平 2000 大井矿床锡铜矿体成矿流体研究及其成因意义 岩石学报, 16(4): 609- 61
- 杨志达, 鲍修坡 1997 黄岗-甘珠尔庙地区多金属矿床地质地球化学 见: 大兴安岭及其邻区铜多金属矿床成矿规律与远景评价 北京: 地震出版社, 125- 144
- 张德全, 赵一鸣(主编). 1993 大兴安岭及邻区铜多金属矿床论文集 北京: 地震出版社, 1- 161
- 周涛发, 岳书仓, 猿峰, 刘晓东, 赵勇 2000 长江中下游两个系列铜、金矿床及其成矿流体系统的氢、氧、硫、铅同位素研究 中国科学(D 辑), 30(增刊): 122- 128

图版说明

图版 I 黄岗矿床磁铁矿-矽卡岩的特征

- a 层纹状磁铁矿和矽卡岩互层构成的层状构造。
- b 磁铁矿和矽卡岩层纹的局部软变形褶皱。
- c 早期矽卡岩和磁铁矿破碎后再沉积形成的碎屑机械沉积层理构造, 注意角砾的不规则和层理绕角砾的弯曲。
- d 大理岩中的磁铁矿角砾, 大小不一, 形状不规则。
- e 矽卡岩角砾被自形粗晶磁铁矿环绕。
- f 竹叶状粗粒矽卡岩碎块长轴定向顺层分布, 被夹在微细粒磁铁矿层中。照片下部层纹状磁铁矿与白色碳酸盐矿物互层, 上部则是较纯的磁铁矿胶球相互叠置, 胶球之间充填粗晶方解石和磁铁矿, 显示晶洞的特征(箭头)。
- g 磁铁矿胶球重结晶后内部的针状晶体呈放射状排列, 但仍保留原始的壳层状构造, 胶球已被压扁。
- h 磁铁矿胶球相互叠置, 胶球之间充填粗晶方解石和磁铁矿(箭头)。
- i 薄片扫描图像示胶球内部的壳层状构造和针状晶体的放射状排列。
- j 显微镜下磁铁矿胶球内部的针状磁铁矿(黑色)、磷灰石(兰色)、以及方解石(白色)所构成的层壳状和放射状构造(透射光, 正交偏光)。
- k 反光显微镜下磁铁矿的自形晶体实际上是由微细粒胶粒重结晶长大而成, 因此表面破碎不堪, 含大量脉石矿物包体(反射光, 单偏光)。

Plate I Features of skarns and magnetite ores in the Huanggang deposit

图版 II 大井矿床热水沉积岩所显示的典型的沉积-成岩成因组构

- a 硫化物矿层顶面的水下冲刷沟被菱铁绢英硅质岩充填覆盖, 沟内有硫化物碎块。
- b 夹在硫化物矿层之间的层纹状菱铁绢云硅质岩(其中的褐色和浅色层纹分别相对富集菱铁矿和石英), 注意层纹的局部揉皱(软变形)。
- c 层状-层纹状菱铁绢云硅质岩, 黑色粉砂岩角砾集中在水下冲刷面之上, 沉积物粒度向上变细。
- d 凹凸不平的水下冲刷面之上石英颗粒的逆粒序(单偏光)。
- e 层纹状菱铁绢云硅质岩(深色层纹相对富集菱铁矿), 注意层纹的揉皱。
- f 富菱铁矿层纹压溶形成的缝合线构造(单偏光)。
- g 岩石薄片复印图像, 清晰地显示出菱铁绢云硅质岩漂亮的层纹和同生沉积角砾, 注意层纹绕角砾弯曲且有压力影现象。
- h 大井矿区内真正的流纹斑岩, 长石斑晶已粘土化, 小插图显微照片(单偏光), 示长石斑晶。

Plate II Synsedimentary-syngenetic fabrics of the siderite-sericite-chert in the Dajing deposit



