

内蒙古黄岗梁锡铁多金属矿床层状夕卡岩 的喷流沉积成因

王长明^{1,2}, 张寿庭^{1,2}, 邓 军^{1,2}, 刘建明³

(1. 中国地质大学 地质过程与矿产资源国家重点实验室, 北京 100083; 2. 中国地质大学 岩石圈构造、深部过程及探测技术教育部重点实验室, 北京 100083; 3. 中国科学院 地质与地球物理研究所, 北京 100029)

摘 要: 内蒙古自治区黄岗梁矿床是大兴安岭中南段的一个大型 Sn-Fe 多金属矿床, 燕山期火山侵入岩广泛出露, 通过对矿床地球化学特征的系统研究, 并结合矿床地质特征, 得出的主要研究成果为: ①与含微细浸染胶状锡的磁铁矿层共生的层状夕卡岩与海底火山活动关系密切, 是一种很具特色的喷流岩; ②REE 地球化学特征表明, 该矿床层状夕卡岩与典型岩浆热液接触交代夕卡岩存在较大差异, 而与现代海底热流体和喷流型矿床及其共生的热水沉积岩有较大的相似性, 应属热水喷流成因; ③层状夕卡岩的碳、氧同位素组成关系可与许多沉积喷流型块状硫化物矿石及其共生的喷流岩相对比, 暗示了两者具有相似的形成机理。

关键词: 层状夕卡岩, 喷流沉积成因, 锡铁多金属矿床, 黄岗梁, 内蒙古

中图分类号: P611, P588.31⁺2

文献标识码: A

文章编号: 1000-6524(2007)05-0409-09

The exhalative genesis of the stratabound skarn in the Huanggangliang Sn-Fe polymetallic deposit of Inner Mongolia

WANG Chang-ming^{1, 2}, ZHANG Shou-ting^{1, 2}, DENG Jun^{1, 2} and LIU Jian-ming³

(1. State Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 2. Key Laboratory of Lithosphere Tectonics and Lithoprobng Technology of Ministry of Education, China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 3. Institute of Geology and Geophysics, CAS, Beijing 100029, China)

Abstract: The Huanggangliang deposit in Inner Mongolia is a large-size Fe-Sn polymetallic deposit in the central-southern section of Da Hinggan Ling area, where Jurassic-Cretaceous volcanic-plutonic rocks are widespread. Thus the deposit is regarded as an epigenetic hydrothermal deposit genetically related to the Mesozoic magmatism. Based on a study of geochemical characteristics of this deposit combined with the deposit geology, the authors have reached the following conclusions: (1) the stratabound ore-bearing skarn associated with magnetite ore and micro-disseminated tin is a peculiar example of exhalites; (2) REE geochemical characteristics show that the stratabound skarn in this deposit is different remarkably from the typical magmatic-hydrothermal contact metasomatic skarn but is quite similar to the modern sea floor hydrothermal fluid sedex deposit and associated hydrothermal sedimentary rock, and hence it should genetically belong to the hydrothermal exhalative type; (3) the relationship between carbon and oxygen isotopes in the stratabound ore-bearing skarn is on the whole comparable with that of many sedex-type sulfide ores and associated exhalites, implying a similar genesis for these deposits.

Key words: stratabound skarn; exhalative genesis; Sn-Fe polymetallic deposit; Huanggangliang; Inner Mongolia

收稿日期: 2007-01-05; 修订日期: 2007-06-12

基金项目: 教育部科学技术研究重点项目(03178), 教育部跨世纪人才基金项目, 国家自然科学基金项目(40172036), 博士点基金及地质过程与矿产资源国家重点实验室资助项目(GPMR200644)

作者简介: 王长明(1974-), 男, 博士, 主要从事金属矿床和地质调查的研究工作, E-mail: wcm233@163.com

夕卡岩及夕卡岩型矿床作为流体作用的直接产物,是研究流体成岩、成矿的一个重要窗口,历来为地质学家们所重视。传统观点主要强调侵入岩与钙质围岩两种化学性质不平衡介质间的接触交代作用,经过一个多世纪的研究,对“夕卡岩”和“夕卡岩矿床”的内涵和外延才有了较明晰的认识。夕卡岩的成岩成矿理论从最初单一的岩浆热液交代成因,逐渐演变为多成因观点,主要有岩浆热液交代成因说、岩浆成因说(吴言昌等,1998)、区域变质成因说、混合岩化成因说(涂光炽,1984;Berg,1991;Meinert,1992)、海底热水交代成因说以及热水沉积成因说(姚鹏等,2006)。

对于黄岗梁锡-铁多金属矿床的成因一直是众多学者关注的热点,多数学者认为其与花岗岩有关,Wang等(2001a,2001b,2001c,2002)认为岩体、地层以及岩浆水、大气降水的共同作用和参与是形成黄岗梁大型夕卡岩型矿床的必要条件,而Liu等(2001)、叶杰等(2002)、刘建明等(2004)通过对与矿石密切共生的热水沉积岩的地质学、岩相学、矿物学和组构学研究,认为研究区陆相断陷沉降盆地中也可能出现热水沉积岩和热水沉积矿床。本文以新的角度重新审视矿床的地球化学特征,进行矿床成因研究。由于地球化学数据具有多解性和不确定性,且往往反映了后期改造的特征,所以前期流体成矿作用的特征很难识别,给研究带来了诸多困难,但是仍然能够证明在二叠纪沉积盆地演化过程中曾经有重要的水下热液沉积喷流成矿作用发生。值得说明的是,笔者并不否认有燕山期后期成矿、改造和干扰作用。

1 层状夕卡岩产出的地质背景及特征

1.1 地质背景

黄岗梁锡-铁多金属矿床位于内蒙古东南部中晚华力西褶皱带的南东部,该褶皱带是西伯利亚古板块与中朝古板块在晚泥盆世-早石炭世沿二连浩特-贺根山一线碰接、隆升后,于中石炭世又裂陷成海,再经早二叠世末的晚华力西运动形成。早二叠世是大兴安岭中南段火山裂陷盆地全面发育期,二叠纪地层火山岩带中产有重要的铜、铅、锌、银、金等矿产,因而大地构造性质一直为许多研究者关注。笔者的研究成果(王长明等,2006a)表明,研究区以玄武岩、玄武质安山岩最为发育,有别于以安山岩为

主的岛弧型火山岩,并且玄武岩、玄武质安山岩和英安岩-火山凝灰岩-流纹岩组成了双峰式火山岩,在火山岩岩石化学成分的分异指数柱状图解显示“双峰式”特点(邵济安,1991;徐志刚,1993)。同时在林西地区火山岩具有细碧岩-角斑岩类双峰式火山岩组合(杨国富,1996;张泰等,2002),显示拉张的构造环境。根据板块学说理论,双峰式火山岩的构造环境为裂谷拉张环境,与大陆边缘裂谷的发育有关。该区火山岩(包括凝灰岩)的岩石组合特点表明,二叠纪火山岩形成于活动大陆边缘的裂陷槽环境。

通过对二叠纪沉积盆地(裂陷槽)的构造背景和构造演化进行分析,从大石寨组、黄岗梁组到林西组,显示从海盆到湖盆连续演化的地质环境。裂陷槽中近90%以上的矿床产在二叠纪地层中,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(杨国富,1996;汪长明等,2006b)。而且沉积地层中硅质岩、锰质岩、电气石岩和重晶石层等热水沉积岩以及伴随裂陷槽的发展、演化而产生的同沉积断裂同样证明了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热液沉积喷流成矿作用发生。研究区已经发现具有喷流沉积成因的矿床,比如大井矿床菱铁绢云硅质岩可能是一种产在陆相裂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(Liu *et al.*, 2001;叶杰等,2002;刘建明等,2004),是一种很具特色的喷流岩。

上述情况表明,二叠纪是研究区一个重要的成矿期次,与之对应形成了与古生代火山沉积盆地(裂陷槽)演化有关的海底热液喷流沉积成矿系列,这无疑为全面、准确地认识本区的成矿作用提供了新的思路,同时对于喷流沉积矿床研究有着重要意义。

1.2 地质特征

层状夕卡岩是黄岗梁矿床中最重要的含矿岩石,在大石寨组火山熔岩和黄岗梁组之间有一个较为稳定的含磁铁矿和夕卡岩的层位,厚度(20~200 m)和岩性组合均变化很大,以夕卡岩层、凝灰岩层(具不同程度的夕卡岩化和其他蚀变)和磁铁矿层为主,夹大理岩和其他碎屑岩层。锡-铁矿带顺层稳定延伸近20 km,夕卡岩和磁铁矿呈整合的层状、透镜状产出(图1)。黄岗梁矿床铁锡共生,铁以磁铁矿为主,矿石中的锡并非是以可见的锡石颗粒产出,而是以微细浸染状分散于其他矿物(磁铁矿和夕卡岩矿物)之中,化学式推测可能是 H_2SnO_3 ,被称为“胶态

锡'或'水锡矿"(张德全等,1994;杨志达等,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)。黄岗梁矿床中的非金属

矿物则非常复杂,包括各种干/湿夕卡岩矿物、中基性岩浆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 40 余种(杨志达等,1997),这可能反映了复杂的成矿演化史。

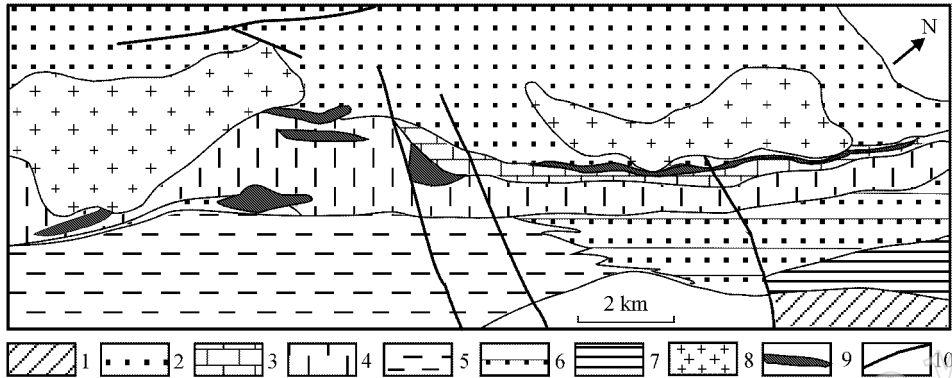


图 1 黄岗梁矿田地质简图和勘探线剖面图[据内蒙古地质调查三队资料(1992)绘制]

Fig. 1 Simplified geological map of Huanggangliang area and the exploration section (modified after No. 3 Geological Surveying Party of Inner Mongolia, 1992)

1—中侏罗统砂砾岩 2—黄岗梁组粉砂岩 3—黄岗梁组大理岩 4—大石寨组安山岩和凝灰岩 5—大石寨组细碧岩 6—青风山组砂岩；
7—青风山组板岩 8—花岗岩 9—含矿夕卡岩；10—断层

1—Middle Jurassic arenite; 2—siltstone of Huanggangliang Formation; 3—marble of Huanggangliang Formation; 4—andesite and tuff of Dashizhai Formation; 5—spilite of Dashizhai Formation; 6—sandstone of Qingfengshan Formation; 7—slate of Qingfengshan Formation; 8—granite; 9—ore-bearing skarn; 10—fault

夕卡岩的组构特征有 3 种:层状-层纹状构造、各种同生沉积角砾构造和磁铁矿变胶状胶球构造(叶杰等,2002),其中以层状-层纹状构造为主。磁铁矿和夕卡岩矿物的层纹与夕卡岩化凝灰岩层纹和大理岩层纹互层,其产状与地层一致,显示海底热水沉积特征。有时还能见到这些层纹的软变形揉皱(图 2a)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 2b)。同生沉积角砾有夕卡岩角砾和磁铁矿角砾,这两类角砾大小不一、棱角分明、无分选无定向(图 2c),既可出现在夕卡岩层/磁铁矿层中,也可出现在大理岩层中,为热水喷发成因。磁铁矿常形成不同尺度的胶球(直径数厘米至数十厘米),其内部具完整的同心壳层构造(图 2d),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。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。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致,并与锡的微细浸染形式相对应。

矿区出露的岩体主要为燕山期似斑状钾长花岗岩,与层状、似层状展布的夕卡岩矿化没有直接的成因关系(Liu *et al.*, 2001;叶杰等,2002;刘建明等,2004),锡-铁矿化呈带状顺地层稳定延伸近 20 km,而非围绕某侵入体产出(图 1)。燕山期花岗岩并无夕卡岩化,即使花岗岩与夕卡岩、铁矿体直接接触而且在接触带断裂发育也是如此,因此地质队钻探施工时常将花岗岩作为终孔的标志。与似斑状钾长花岗岩同期稍晚阶段形成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。

2 稀土元素地球化学特征

黄岗梁层状含矿夕卡岩及有关岩石的稀土元素测定结果列于表 1。从表 1 可以看出,黄岗梁矿床的层状(控)夕卡岩 $\Sigma\text{REE} = 43.33 \times 10^{-6}$ (平均), $\delta\text{Eu} = 1.28$ (平均)。与典型岩浆热液交代夕卡岩($\Sigma\text{REE} = 121.01 \times 10^{-6}$, $\delta\text{Eu} = 0.92$) (姚鹏等,2006)相比,

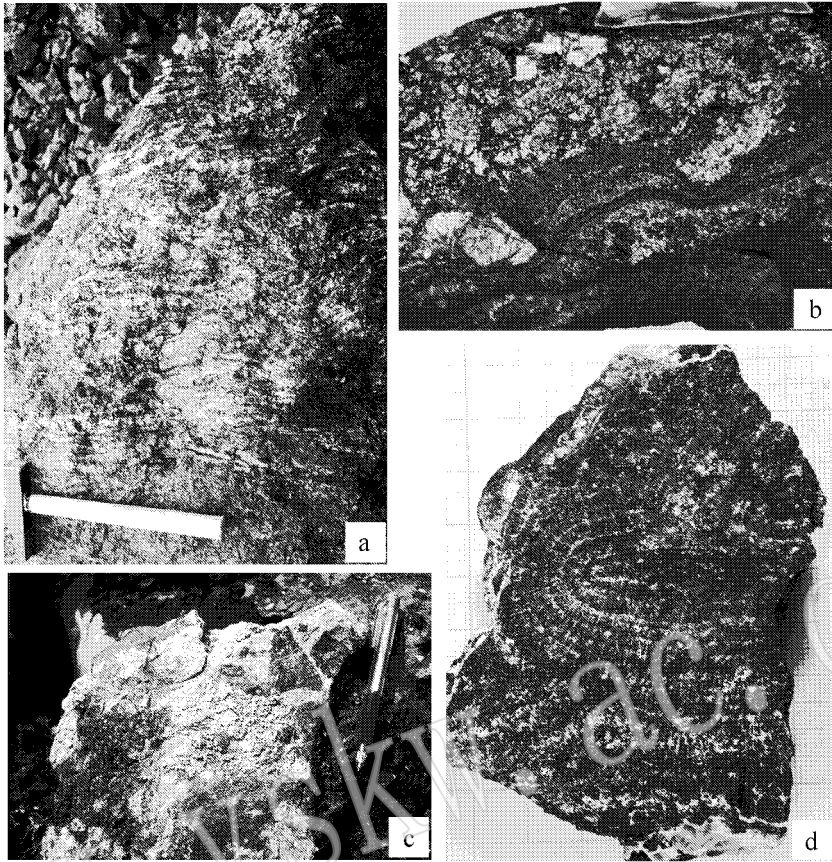


图2 黄岗梁矿床层控夕卡岩特征

Fig. 2 Features of the stratabound skarn ores in the Huanggangliang deposit

a—层纹状磁铁矿和夕卡岩(注意层纹的软变形褶皱); b—早期夕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; c—大理岩中磁铁矿的同沉积角砾; d—磁铁矿的壳层状构造

a—bedded-laminated skarn and magnetite ores with small-size folding (soft-deformation); b—lamination structure of mechanical sedimentary fragments from early skarn and magnetite ores; c—synsedimentary breccia of magnetite ores in the marble; d—core-shell structure of magnetite ores

ΣREE 明显偏低,而 δEu 偏高;与本区岩浆热液 ($\Sigma\text{REE} = 743.39 \times 10^{-6}$, $\delta\text{Eu} = 0.17$) 相比, ΣREE 也明显偏低,而 δEu 则偏高。黄岗梁矿床的层状夕卡岩具 Ce 负异常、 Eu 正异常和斜率较缓、向右倾的 REE 配分型式(图3),这与典型岩浆热液交代夕卡岩的 δCe 异常不明显、不具 Eu 正异常和斜率较陡的 REE 配分型式形成鲜明对照,并且与黄岗梁矿区燕山期似斑状钾长花岗岩 REE 配分模式存在较大差异(图4)暗示形成黄岗梁矿床层状夕卡岩的流体与形成典型岩浆热液交代夕卡岩的流体有所差别,非岩浆热液所为。

Fleet (1983) 系统地研究了世界上属于热水成因的金属沉积物与属于非热水沉积的水成金属沉积物中的 REE,发现前者的 REE 总量低, Ce 为负异常, HREE 有富集的趋势。Shimizu and Masuda (1977)

研究了现代和古代热水沉积、水成沉积的稀土元素后指出,热水沉积物的特点是稀土元素总量低,有明显的 Ce 亏损。Marchig 等(1982)研究证明,热水喷流型的含金属现代深海沉积物稀土配分型式表现为右倾型, Ce 为亏损。以黄岗梁层状含矿夕卡岩 Ce 平均值为 0.88,来判断硅质岩的沉积环境,可见黄岗梁层状夕卡岩具有热水沉积的特征。值得说明的一点是,研究区热水沉积岩比现代海底热水硅质岩及已有的热水沉积硅质岩的 LREE/HREE 比值要大,这可能与二叠纪喷流流体成分与燕山期岩浆叠加改造组分的混入有关,如 Marchig 等(1982)研究了东太平洋 13°N 洋中脊的热水溶液以及彭军等(1999)研究北美 Franciscan 热水沉积的含锰燧石的稀土配分时,得到的结论都是 LREE 大于 HREE。

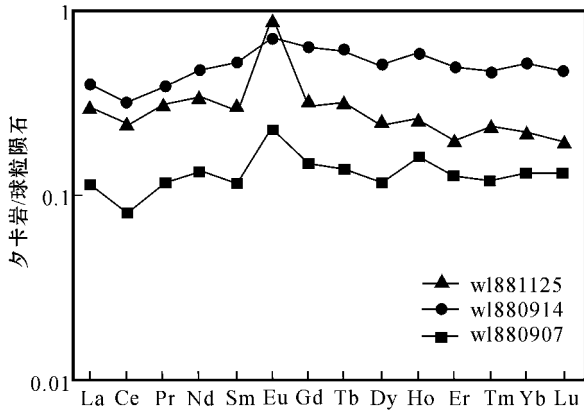


图 3 黄岗梁层状含矿夕卡岩 REE 配分模式图

Fig. 3 Chondrite-normalized REE patterns of the stratabound ore-bearing skarn in Huanggangliang

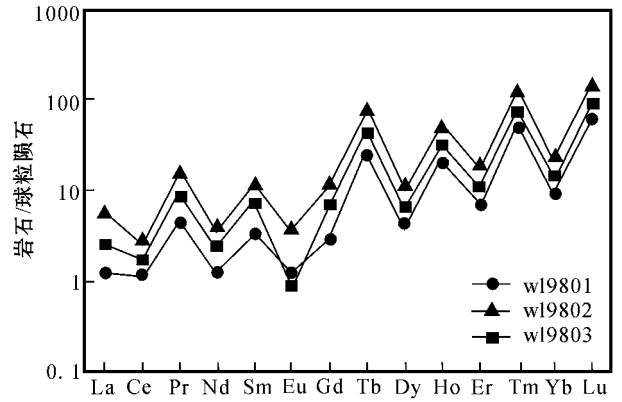


图 4 黄岗梁岩浆岩 REE 配分模式图

Fig. 4 Chondrite-normalized REE patterns of the magmatic rocks in Huanggangliang

表 1 黄岗梁层状夕卡岩及有关岩石的稀土元素分析结果

$w_B/10^{-6}$

Table 1 REE analytical results of Huanggangliang stratabound skarn and associated rocks

名称 样号	花岗岩 w19801	伟晶岩 w19802	细晶岩 w19803	夕卡岩 w1881125	夕卡岩 w1880907	夕卡岩 w1880914
La	81.99	189.72	40.02	9.68	3.69	12.96
Ce	116.10	166.58	77.13	16.42	5.46	21.59
Pr	75.35	128.57	36.47	2.45	0.94	3.20
Nd	62.70	95.07	35.21	9.58	3.65	13.20
Sm	45.84	70.07	20.48	1.76	0.71	3.21
Eu	1.17	4.35	1.40	1.09	0.27	0.86
Gd	35.20	58.03	15.72	1.61	0.80	3.46
Tb	37.03	60.93	21.16	0.26	0.11	0.50
Dy	35.94	60.86	23.77	0.41	0.70	3.00
Ho	33.86	57.03	23.51	0.27	0.17	0.64
Er	35.80	60.96	26.71	0.69	0.45	1.74
Tm	38.95	64.69	29.48	0.12	0.06	0.25
Yb	40.24	65.65	31.14	0.66	0.40	1.59
Lu	38.31	60.06	26.93	0.09	0.06	0.22
LREE	383.15	654.36	210.71	40.98	14.72	55.02
HREE	295.33	488.21	198.42	5.11	2.75	11.4
ΣREE	678.48	1142.57	409.13	46.09	17.47	66.42
LREE/HREE	1.30	1.34	1.06	8.02	5.35	4.83
δCe	0.31	0.24	0.42	0.92	0.77	0.95
δEu	0.09	0.20	0.23	1.96	1.10	0.79

资料来源：王莉娟等，2002。

3 碳、氧同位素地球化学特征

笔者参与由中国科学院地质与地球物理研究所和中国地质大学主持的内蒙古重大科研项目，对研究区进行了深入仔细的研究和调查。矿区内碳酸盐脉十分发育，从地表露头到井下矿体到处都能见到。

一类方解石结晶好、晶体大、纯度很高，脉中不含石英、磁铁矿和锡矿等，显然是在成矿阶段之后形成的。在井下往往能够看到这类方解石脉切穿矿脉。另一类碳酸盐脉可能与一些矿石同时形成，一般形成独立的细脉或是与石英、磁铁矿和锡矿等形成复脉，出现在矿体中或矿体附近。此次对具有变胶状胶球构造夕卡岩中的磁铁矿晶粒间方解石、层状-层纹状构造夕卡岩中的方解石以及矿体中的粗晶方解石进行取样分析，结果列于表 2。

海底热水流体的碳、氧同位素组成与海水的有显著差别。由于海底热水沉积碳酸盐岩中不同程度的含有来自火山成因($\delta^{13}C_{PDB} = -7.0\text{‰}$)、深部地幔来源($\delta^{13}C_{PDB} = -4\text{‰}$)、海底热泉($\delta^{13}C_{PDB} = -3\text{‰} \sim -30\text{‰}$)和有机质热解的有机碳($\delta^{13}C_{PDB} < -30\text{‰}$) (杨振强, 1997)，其碳、氧同位素组成显示明显的负值，研究表明海底流体喷出水-岩界面与正常海水混合，必然使海水的同位素发生变化，而这种变化则会体现在海底沉积物(主要是碳酸盐岩)中。

黄岗梁矿区方解石的 $\delta^{18}O_{SMOW}$ 为 $9.095\text{‰} \sim 11.072\text{‰}$ ，平均值为 9.367‰ (表 2)，低于正常海相灰岩 ($\delta^{18}O_{SMOW} = 22\text{‰} \sim 30\text{‰}$) 和大理岩 ($15\text{‰} \sim 27\text{‰}$)； $\delta^{13}C_{PDB}$ 为 $-4.397\text{‰} \sim -11.434\text{‰}$ ，平均值为 -7.722‰ ，与前寒武系海相碳酸盐岩 $\delta^{13}C_{PDB}$ 值 ($-2.1\text{‰} \sim +2.7\text{‰}$) 不同，也不同于生物藻类 $\delta^{13}C_{PDB}$ 值 ($-23\text{‰} \sim -12\text{‰}$) (魏菊英等, 1988)。笔者系统收集了国内外不同地区的碳、氧同位素资料 (表 3)，可以看出，黄岗梁矿区方解石的 $\delta^{13}C_{PDB}$ 值与湘、黔震旦纪锰矿含锰白云石、方解石 (杨振强等, 1999) 的 $\delta^{13}C_{PDB}$ 、

表 2 黄岗梁矿床热液矿物与岩石的碳、氧同位素组成

Table 2 $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{18}\text{O}$ values of hydrothermal minerals and rocks in the Huanggangliang deposit

序号	样号	矿物名称	样品描述	$\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}/\text{‰}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}}/\text{‰}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}/\text{‰}$
1	HGSn-29-2	方解石	黄岗梁 3 号矿体充填的方解石	-5.400	-20.357	9.095
2	HGSn-21-1	方解石	黄岗梁 3 号矿体中粗晶方解石	-5.310	-20.096	9.364
3	HGSn-21-2	方解石	黄岗梁 3 号矿体中粗晶方解石	-4.563	-20.165	9.293
4	HGSn-21-3	方解石	黄岗梁 3 号矿体中粗晶方解石	-4.397	-20.166	9.292
5	HGF $\text{e}\text{①}$ -6-2	方解石	黄岗梁 3 号矿体中粗晶方解石	-10.434	-18.439	11.072
6	SMG-3	方解石	黄岗梁 3 号矿体中粗晶方解石	-8.141	-21.228	8.197
7	HGFE II -3-2b	方解石	黄岗梁 3 号矿体中磁铁晶粒间方解石	-9.406	-21.128	8.300
8	HGB-3-13a	方解石	黄岗梁 3 号矿体中粗晶方解石	-11.706	-19.066	10.426
9	HGFE II -3-14c	方解石	黄岗梁 3 号矿体纹层状方解石	-10.141	-20.193	9.264

测试单位:中国科学院地质与地球物理研究所 2004。

表 3 不同成矿作用碳、氧同位素特征

Table 3 Characteristics of oxygen and carbon isotopes in different ore-forming processes

矿区	岩性	$\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}}/\text{‰}$	$\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}/\text{‰}$	成因	碳来源	资料来源
湘、黔震旦纪锰矿	含锰白云石、方解石	-2.09~-4.00	-6.87~-14.04	热水成因	深部碳和海洋碳酸盐岩	杨振强等(1999)
	锰矿锰矿	-2.00~-13.00	-7.00~-13.00	生物成因	生物成因	
湘中中奥陶世锰矿	锰泥晶灰岩	-12.81~-14.75	-1.70~-6.56	热水成因	深部碳	杨振强等(1996)
		-11.67~-12.40	-12.76~-6.76	非生物成因	热解非生物成因碳	
白果园银钨矿	白云岩	+1.45~-6.08	-0.80~-8.62	生物成因	海洋碳酸盐岩和生物成因碳	杨振强等(1996)
大宝山多金属矿	含矿灰岩、大理岩	-14.29~-24.91	+0.86~-6.64	热水沉积	深部碳 少数海洋碳酸盐岩	杨振强(1997)
大厂多金属矿	早期碳酸盐岩	-11.60~-18.30	-6.00~-8.00	喷气沉积	深部碳	韩发等(1997)
大厂多金属矿	晚期碳酸盐岩	-15.40~-20.30	-2.40~-2.60	喷气沉积	深部碳和海洋碳酸盐岩	卢焕章等(1995)
阿比第比绿岩带金矿	白云岩和菱铁矿		-3.40~-7.30	热卤水	深部碳和海洋碳酸盐岩	杨振强等(1999)
诺斯曼-威尔纳金矿	方解石		-3.40~-7.30	热卤水	地幔碳	符力奋(1989)
河台金矿	方解石	-20.05~-21.25	-2.97~-3.51	热卤水	深部碳和海洋碳酸盐岩	杨振强等(1996)
黄岗梁锡铁多金属矿床	方解石	-18.44~-21.23	-4.40~-11.71	热水成因	深部碳和海洋碳酸盐岩	本文

粤北大宝山多金属矿含矿灰岩、大理岩(杨振强, 1997)的 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 、现代海底热水的 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ (-8‰~-5‰)相一致(金章东等, 1997),显示本区的热水沉积特点。方解石的 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ - $\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}}$ 值可以指示海相沉积环境。据 MozLey 和 Wersir(1992)研究,菱铁矿具有 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 负值,最大可能为海相成因,而那些 $\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}} < -13\text{‰}$ 同时具有正 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 值的菱铁矿大多数为非海相成因(图 5)。因此,黄岗梁矿区方解石属于海底热事件沉积成因。

在 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ - $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ 图中(图 6)给出了地壳流体中 CO_2 的三大主要来源(有机质、海相碳酸盐岩和岩浆-地幔源)的碳、氧同位素值的范围,而且还用箭头标出了从这 3 个物源经 8 种主要过程产生 CO_2 时,其同位素组成的变化趋势(刘建明等, 1997;毛景文等, 2002;刘家军等, 2004)。从岩浆源经结晶分异生成的 CO_2 ,其 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 和 $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ 值都将高于其源区,而且结晶程度越高,这一差异就越大。样品数据

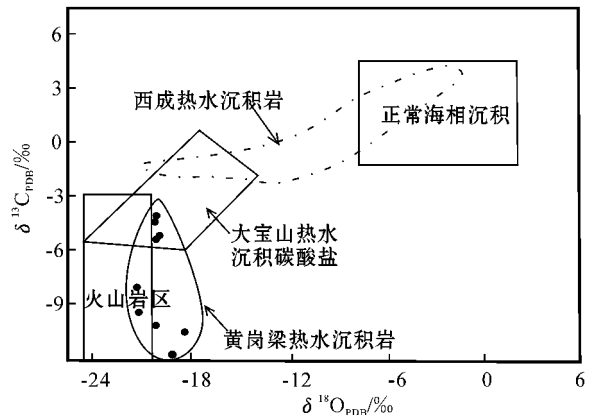


图 5 热水沉积岩碳、氧同位素组成关系

Fig. 5 The relationship between carbon and oxygen isotopes in hydrothermal sedimentary rocks

在图 6 中的投点清楚地表明,黄岗梁矿区各矿段中的碳可能主要由岩浆-地幔经溶解作用提供的,且受低温蚀变作用和大气降水的影响相当明显。尽管

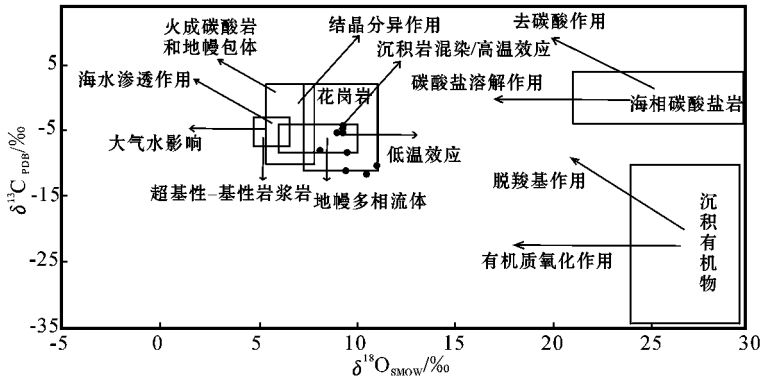


图 6 黄岗梁矿区方解石的 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}-\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ 图解 底图据刘建明等 (1997)、毛景文等 (2002)、刘家军等 (2004) 资料修改]

Fig. 6 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ versus $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ diagram of siderite from the Huanggangliang deposit (modified after Liu Jianming *et al.*, 1997; Mao Jingwen *et al.*, 2002; Liu Jiajun *et al.*, 2004)

这一结论未考虑到碳酸盐矿物沉淀时的各种同位素分馏过程,但总体趋势却极为清楚。

4 结论

通过对矿床地球化学特征的系统研究,并结合矿床地质特征,得出如下结论:

(1) 黄岗梁矿床中层状含矿夕卡岩与矿区出露的燕山期似斑状钾长花岗岩没有直接的成因关系,锡-铁矿化呈带状顺地层稳定展布,而非围绕某侵入体产出。并且层状夕卡岩与含微细浸染胶状锡的磁铁矿层共生,显示了与海底火山活动的密切关系,是一种很具特色的喷流岩。

(2) 黄岗梁矿床中层状夕卡岩的 ΣREE 平均值为 43.33×10^{-6} , δEu 平均值为 1.28,显示该矿床层状夕卡岩与典型岩浆热液接触交代夕卡岩存在较大差异,而与现代海底热流体和喷流型矿床及其共生的热水沉积岩有较大的相似性。因此认为,黄岗梁矿床层状夕卡岩的形成与岩浆热液没有直接的成因联系,而与古海底热水活动有关,应属热水喷流成因。

(3) 黄岗梁矿区方解石的 $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ 为 9.095‰ ~ 11.072‰,平均值为 9.367‰; $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 为 -4.397‰ ~ -11.434‰,平均值为 -7.722‰,并与国内外不同地区不同成因类型碳酸盐岩的碳、氧同位素进行分析对比,进一步揭示黄岗梁矿区的方解石碳来源,显示本区层状夕卡岩的热水沉积特点。

References

Berg R. 1991. Tungsten skarn mineralization in a regional metamorphic

terrain in northern Norway: a possible metamorphic ore deposit [J]. *Mineral Deposits* 26: 281 ~ 289.

Fleet A J. 1983. Hydrothermal and hydrogenous ferro-manganese deposits: do they form a continent? [A]. *Rona P A. The Rare Earth Element Evidence in Hydrothermal Processes at Seafloor Spreading Center* [C]. New York: Plenum Press, 535 ~ 555.

Fu Lifan. 1989. Genesis of Hetai deposit [J]. *Guangdong Geology*, 4 (4): 35 ~ 43 (in Chinese).

Han Fa, Zhao Rusong, Shen Jianzhong, *et al.* 1997. Geology and Genesis in the Dachang Sn-Polymetallic Deposits [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1 ~ 45 (in Chinese).

Jin Zhangdong and Li Ying. 1997. Origin of hydrothermal sedimentary copper-polymetallic core deposits in the Langshan district, Inner Mongolia [J]. *Northwest Geoscience*, 18(2): 54 ~ 62 (in Chinese with English abstract).

Liu Jiajun, He Mingqin, Li Zhiming, *et al.* 2004. Oxygen and carbon isotopic geochemistry of Baiyangping silver-copper polymetallic ore concentration area in Lanping basin of Yunnan province and its significance [J]. *Mineral Deposits*, 23(1): 1 ~ 9 (in Chinese with English abstract).

Liu Jianming and Liu Jiajun. 1997. Basinal fluid genetic model of fine disseminated gold deposits in the gold triangle area between Yunnan, Guizhou and Guangxi [J]. *Acta Geologica Sinica*, 17(4): 448 ~ 456 (in Chinese with English abstract).

Liu Jianming, Ye Jie, Zhang Anli, *et al.* 2001. A new exhalite-type Siderite sericite chert formed in fault-controlled lacustrine basin [J]. *Science in China (Series D)*, 44: 408 ~ 415.

Liu Jianming, Zhan Guorui and Zhang Qingzhou. 2004. The regional metallogeny of Da Hinggan Ling, China [J]. *Earth Science Frontiers*, 11(1): 269 ~ 277 (in Chinese with English abstract).

Lu Huanzhang, Chi Guoxiang and Wang Zhonggang. 1995. Model and Tectonical Environments of Typical Mineral Deposits in the World [M]. Beijing: Geological Publishing House, 107 ~ 118 (in Chinese).

Marchig V, Gundlach H, Moller P, *et al.* 1982. Some geochemical indicators of discrimination between diagenetic and hydrothermal met-

- alliferous sediments[J]. *Marine Geology* , 50 :241~256.
- Mao Jingwen , He Ying and Ding Tiping. 2002. Mantle fluids involved in metallogenesis of Jiaodong (east Shandong) gold district : Evidence of C , O and H isotopes [J]. *Mineral Deposits* , 21(2) :121~127 (in Chinese with English abstract).
- Meinert L. D. 1992. Skarns and skarn deposits[J]. *Geoscience Canada* , 19(4) :15~34.
- Mozley P. S. and Wersin P. 1992. Isotopic composition of siderite as an indicator of depositional environment[J]. *Geology* , 20(9) :817~820.
- Peng Jun , Xia Wenjie and Yi Haisheng. 1999. Geochemical characteristics and deposition environments of the Late Precambrian bedded siliceous rocks in western Hunan[J]. *Sedimentary Facies and Palaeogeography* , 19(2) :30~37 (in Chinese with English abstract).
- Shao Ji'an. 1991. The Crust Evolution in the Middle Part of the Northern Margin of Sino-korean the Plate[M]. Beijing : Peking University Press , 136 (in Chinese).
- Shimizu H and Masuda A. 1977. Cerium in cherts as an indication of marine environment of its formation[J]. *Nature* , 266 :346~348.
- Tu Guangchi. 1984. *Geochemistry of Chinese Stratabound Deposits* , Vol II [M]. Beijing : Science Press , 1~69 (in Chinese).
- Wang Changming , Zhang Shouting and Deng Jun. 2006a. Geotectonic Evolution and Metallogenesis in the Southern Segment of the Da Hinggan Mountains[A]. China University of Geosciences. 2006 Year Doctoral Forum of China [C]. Beijing : Geological Publishing House , 199~204.
- Wang Changming , Zhang Shouting and Deng Jun. 2006b. The metallogenic space-time structure of the Southern Daxinganling copper-polymetallic deposit[J]. *Journal of Chengde University of Technology (Science & Technology Edition)* , 33(6) :1~7 (in Chinese with English abstract).
- Wang Lijuan , Shimazaki H , Wang Jingbin , *et al.* 2001a. Ore-forming fluid and metallization of the Huanggangliang skarn Fe-Sn deposit , Inner Mongolia[J]. *Science in China (Ser. D)* , 44(8) :735~747.
- Wang Lijuan , Shimazaki H and Shiga Y. 2001b. Skarns genesis of the Huanggang Fe-Sn deposit , Inner Mongolia[J]. *China Resource Geology* , 51(4) :359~376.
- Wang Lijuan , Wang Jingbin , Wang Yuwang , *et al.* 2001c. Fluid-melt inclusions in fluorite of the Huanggangliang skarn iron-tin deposit and their significance to mineralization[J]. *Acta Geologica Sinica* , 75(2) :204~211.
- Wang Lijuan , Wang Jingbin , Wang Yuwang , *et al.* 2002. REE geochemistry of the Huanggangliang skarn Fe-Sn deposit , Inner Mongolia[J]. *Acta Petrologica Sinica* , 18(4) :575~584 (in Chinese with English abstract).
- Wei Juying and Wang Guanyu. 1988. *Isotope Geochemistry* [M]. Beijing : Geological Publishing House , 1~166 (in Chinese).
- Wu Yanchang and Chang Yinfu. 1998. On the magmatic skarn[J]. *Earth Science Frontiers* , 5(4) :291~301 (in Chinese with English abstract).
- Xu Zhigang. 1993. The tectonic setting of copper-polymetallic deposits in Southeastern Inner Mongolia[A]. Zhang Dequan and Zhao Yiming. *The Collection of Copper-Polymetallic Ore Deposits in the Da Hinggan Mountains and Its Continues Region* [C]. Beijing : Seismological Press , 20~41 (in Chinese).
- Yang Guofu. 1996. Geological formation and ore-controlling process of Permian System in the southern part of Dahingganling , Inner Mongolia[J]. *Mineral Resource and Geology* , 10(2) :120~125 (in Chinese with English abstract).
- Yang Zhida and Bao Xiupo. 1997. Geology and geochemistry of polymetallic deposits in the Huanggang-Ganzhuermiao area[A]. Zhao Yiming and Zhang Dequan. *Metallogeny and Prospective Evaluation of Copper-Polymetallic Deposits in the Da Hinggan Mountains and Its Adjacent Region* [C]. Beijing : Seismological Press , 125~144 (in Chinese).
- Yang Zhenqiang , Chen Kaixu , Jiang Dehe , *et al.* 1996. Late Paleozoic sedimentary basin extension and metallogenesis in the northern Guangdong province China[J]. *Sedimentary Facies and Palaeogeography* , 16(3) :58~70 (in Chinese with English abstract).
- Yang Zhenqiang. 1997. Origin of the Daobaoshan massive sulfide deposit : Devonian seafloor thermal events[J]. *Geology and Mineral Resources of South China* (1) :7~17 (in Chinese).
- Yang Zhenqiang , Chen Kaixu and Zhai Lina. 1999. Isotopic tracing of carbon sources for organic and hydrothermal mineralization [J]. *Geology and Mineral Resources of South China* (2) :59~65 (in Chinese).
- Yao Peng , Li Jingao , Gu Xuexiang , *et al.* 2006. A discussion on the genesis of the stratabound skarn in the Jiama copper and polymetallic deposit of Tibet on the basis of REE and silicon isotope geochemistry[J]. *Acta Petrologica et Mineralogica* , 25(4) :305~313 (in Chinese with English abstract).
- Ye Jie , Liu Jianming , Zhang Anli , *et al.* 2002. Petrological evidence for exhalative mineralization : Cases studies of Huanggang and Dajing deposits in the southern segment of the Da Hinggan Mountains , China[J]. *Acta Petrologica Sinica* , 18(4) :585~592 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Tai and Liu Yunji. 2002. Geological characteristics and formation of Tuofengshan copper-bearing sulfide deposits of Inner Mongolia [J]. *Geological Publishing House* , 24(1) :39~47 (in Chinese).
- Zhang Dequan , Ai Xiao and Bao Xiupo. 1994. Nonferrous metallic deposits in the Huanggang-Ganzhuermiao Mesozoic activating region [A]. Rui Zongyao , Shi Lingdao and Fang Ruheng. *Geology and Nonferrous Metallic Deposits in the Northern Margin of the North China Landmass and Its Adjacent Area* [C]. Beijing : Geological Publishing House , 314~363 (in Chinese).

附中文参考文献

- 符力奋. 1989. 河台金矿床成因探讨[J]. *广东地质* , 4(4) :35~43.
- 韩发 , 赵汝松 , 沈建忠 , 等. 1997. 大厂锡多金属矿床地质及成因 [M]. 北京 : 地质出版社 , 1~45.

- 金章东,李英.1997.华北地台北缘西段铜多金属矿床的热液沉积成因[J].西北地质科学,18(2):54~62.
- 刘建明,刘家军.1997.滇黔桂金三角区微细浸染型金矿床的盆地流体成因模式[J].矿物学报,17(4):448~456.
- 刘建明,张锐,张庆洲.2004.大兴安岭地区的区域成矿特征[J].地学前缘,11(1):269~277.
- 刘家军,何明勤,李志明,等.2004.云南白秧坪银铜多金属矿集区碳氧同位素组成及其意义[J].矿床地质,23(1):1~9.
- 卢焕章,池国祥,王中刚.1995.典型金属矿床的成因及其构造环境[M].北京:地质出版社,107~118.
- 毛景文,赫英,丁梯平.2002.胶东金矿形成期间地幔流体参与成矿过程的碳氧氢同位素证据[J].矿床地质,21(2):121~127.
- 彭军,夏文杰,伊海生.1999.湘西晚前寒武纪层状硅质岩的热液沉积地球化学标志及其环境意义[J].岩相古地理,19(2):30~37.
- 邵济安.1991.中朝板块北缘中段地壳演化[M].北京:北京大学出版社,136.
- 涂光炽.1984.中国层控矿床地球化学(第一卷)[M].北京:科学出版社,1~69.
- 王长明,张寿庭,邓军.2006a.大兴安岭中南段构造演化与成矿[A].中国地质大学.2006年全国博士生学术论坛论文集[C].北京:地质出版社,199~204.
- 王长明,张寿庭,邓军.2006b.大兴安岭中南段铜多金属矿床时空结构[J].成都理工大学学报,33(6):1~7.
- 王莉娟,王京彬,王玉往,等.2002.内蒙黄岗梁夕卡岩型铁锡矿床稀土元素地球化学[J].岩石学报,18(4):575~584.
- 吴言昌,常印佛.1998.关于岩浆夕卡岩问题[J].地学前缘,5(4):291~301.
- 魏菊英,王关玉.1988.同位素地球化学[M].北京:地质出版社,112~165.
- 徐志刚.1993.内蒙古东南部铜多金属矿床成矿构造背景[A].张德全,赵一鸣.大兴安岭及邻区铜多金属矿床论文集[C].北京:地震出版社,20~42.
- 杨国富.1996.内蒙大兴安岭南段二叠系的地质建造与控矿作用[J].矿产与地质,10(2):120~125.
- 杨振强,陈开旭,蒋德和,等.1996.粤北海西早期沉积盆地扩张与热水成矿[J].岩相古地理,16(3):58~70.
- 杨振强.1997.大宝山块状硫化物矿床成因:泥盆纪海底热事件[J].华南地质与矿产(1):7~17.
- 杨振强,陈开旭,翟丽娜.1999.生物成矿和热水成矿中碳来源的同位素示踪[J].华南地质与矿产(2):59~65.
- 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[A].赵一鸣,张德全.大兴安岭及其邻区多金属矿床成矿规律与远景评价[C].北京:地震出版社,125~144.
- 叶杰,刘建明,张安立,等.2002.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[J].岩石学报,18(4):585~595.
- 姚鹏,李金高,顾雪祥,等.2006.从REE和硅同位素特征探讨西藏甲马矿床层状夕卡岩成因[J].岩石矿物学杂志,25(4):305~313.
- 张德全,艾霞,鲍修坡.1994.黄岗-甘珠尔庙中生代活化区有色金属矿床[A].芮宗瑶,施林道,方如恒.华北陆块北缘及邻区有色金属矿床地质[C].北京:地质出版社,314~363.
- 张泰,刘运纪.2002.内蒙古驼峰山含铜硫化物矿床地质特征及成因初探[J].化工矿产地质,24(1):39~47.