

内蒙古拜仁达坝银多金属矿矿床地质 及成矿流体特征

郭利军¹, 谢玉玲², 侯增谦³, 王 硕¹, 陈 伟², 李 政²,
李应栩², 薛怀民³, 童 英³, 潘小菲³, 周喜文³

(1. 内蒙古地质勘查有限责任公司, 内蒙古 呼和浩特 010020; 2. 北京科技大学 土木与环境工程学院, 北京 100083; 3. 中国地质科学院 地质研究所, 北京 100037)

摘 要: 内蒙古拜仁达坝矿区位于大兴安岭西坡银多金属成矿带, 矿体产于元古宇宝音图组下岩段黑云斜长片麻岩和华力西期石英闪长岩中。根据野外脉体穿插关系和矿石结构构造特征可以将成矿分为3个阶段: 石英多金属硫化物阶段、萤石-水白云母阶段、方解石-硫化物阶段。岩矿相、扫描电镜和能谱分析表明, 矿区主要金属矿物有黄铁矿、白铁矿、磁黄铁矿、闪锌矿、方铅矿、毒砂、黄铜矿、硫锑铅矿等; 脉石矿物以石英、方解石和萤石为主。在野外调研基础上, 对主要脉石矿物石英、萤石中流体包裹体进行了包裹体岩相学、显微测温分析和包裹体中气液相成分的LRM分析。结果表明, 第1阶段石英中包裹体以富CH₄包裹体和纯CH₄包裹体为主, 第2阶段萤石中以富水包裹体为主, 流体包裹体均一温度分别为187~343℃(石英)和152~306℃(萤石), 据冰点估算的盐度分别为1.4%~9.34% NaCleq(质量分数, 下同)和2.9%~9.2% NaCleq。包裹体气液相成分的LRM分析表明, 石英中纯CH₄包裹体显示较强的CH₄峰(2 913~2 917 cm⁻¹), 部分样品中检出含一定量的CO₂, 富CH₄包裹体气泡相中也显示了CH₄峰的存在。萤石中富H₂O包裹体气液相中均只检出H₂O。结合矿床地质、区域矿床分布特征和包裹体显微测温结果, 认为该矿床为一与燕山期岩浆活动有关的中低温热液矿床, 成矿物质以深源为主。

关键词: 流体包裹体; 银多金属矿; 拜仁达坝

中图分类号: P618.52; P611.1

文献标识码: A

文章编号: 1000-6524(2009)01-0026-11

Geology and ore fluid characteristics of the Bairendaba silver polymetallic deposit in Inner Mongolia

GUO Li-Jun¹, XIE Yu-ling², HOU Zeng-qian³, WANG Shuo¹, CHEN Wei², LI Zheng², LI Ying-xu²,
XUE Huai-min³, TONG Ying³, PAN Xiao-fei³ and ZHOU Xi-wen³

(1. Inner Mongolia Geological Exploration Co. Ltd, Hohhot 010020, China; 2. School of Civil and Environmental Engineering, University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083, China; 3. Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China)

Abstract: The Bairendaba silver-polymetallic deposit is located in Keshiketeng County of Inner Mongolia, China. The region is an important part of the metallogenic belt on the western slopes of the southern Da Hingan Mountains. Proterozoic biotite plagiogneiss (Baoyintu Formation) and Variscan quartz diorite outcrop in the district. Based on vein cross-cutting relationships and ore structure, three mineralization stages can be recognized. These comprise: quartz-polymetallic sulfide stage, fluorite-hydromuscovite stage and calcite-sulfide stage. Arsenopyrite, pyrite, chalcopyrite,

收稿日期: 2008-08-27; 修订日期: 2008-11-13

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(40573035); 内蒙古地质勘查有限责任公司资助项目

作者简介: 郭利军(1956-), 男, 教授级高工, 主要从事地质勘查与找矿方向的研究, E-mail: glj001@vip.163.com; 通讯作者: 谢玉玲(1963-), 女, 教授, 博士生导师, 主要从事地质流体与成矿方面研究工作, E-mail: yulingxie@263.net.

marcasite, pyrrhotite, sphalerite, galena and boulangerite are the main metal minerals, while the gangue minerals are dominated by quartz, fluorite and calcite. Petrographic, microthermometric and LRM (Laser Raman Microprobe) results of fluid inclusions in quartz from stage 1 and fluorite from stage 2, show that from stages 1 to 2, the ore-forming fluids pass from high-moderate temperature, CH₄-rich fluid to low temperature water-rich fluids. The salinity of the ore-forming fluids is low salinity. Pure CH₄-fluid inclusions were found in quartz from stage 1, but not in fluorite from stage 2. Integrating data on ore geology, regional mineralization background, distribution of mineral deposits and fluid inclusion results, it is concluded that the Bairendaba silver-polymetallic deposit is a Yanshanian magmatism-related, structure-controlled and moderate-low temperature hydrothermal system. Sulfur isotope composition suggests a deep source for ore-forming material.

Key words: fluid inclusion; silver polymetallic deposit; Bairendaba

拜仁达坝银多金属矿位于大兴安岭西坡银多金属成矿带,是近年来新发现的又一大型银多金属矿床,与维拉斯托、道伦达坝、东不拉格、花敖包特等共同构成一走向北东的银多金属成矿带。拜仁达坝银多金属矿是内蒙古地矿局的最新勘查成果,也是自20世纪50年代开展物化探工作以来,应用综合物化探方法找到的超大型矿床的典型实例(郑翻身等,2006)。拜仁达坝矿区银的远景规模大于8 000 t,铅锌远景规模可达 3×10^6 t;拜仁达坝和维拉斯托两矿区有望发展成为超大型银多金属矿田(郑翻身等,2006)。

关于该矿床的矿床地质和矿床成因,前人已进行了一定的工作,为本次研究提供了重要的基础资料^①。但针对本矿床成矿流体方面的研究尚不深入,目前尚无公开发表的该矿区成矿流体方面的详细资料。成矿流体研究是矿床成因和成矿物理化学条件研究的重要手段,也是建立矿床成因模型的重要依据之一。因此本文旨在前人工作的基础上,通过详细的野外地质调研和室内岩矿相分析、包裹体显微测温分析、包裹体成分LRM分析等手段,对该矿床的成矿流体特征和矿床成因进行初步探讨。

1 区域地质概况

拜仁达坝银多金属矿床位于内蒙古自治区克什克腾旗境内,大兴安岭南段西坡。大地构造位置上位于华北板块北缘,古生代板块内镶嵌的锡林浩特元古代地块东端。区内出露地层主要有下元古界、石炭系、二叠系、侏罗系和第四系(图1)。下元古界

宝音图组是出露最老的地层,主要由黑云斜长片麻岩、二云斜长片麻岩夹斜长角闪岩、二云片岩、变粒岩及大理岩透镜体组成;石炭系上统本巴图组(C₂b)主要由长石石英砂岩、硬砂质长石砂岩、石灰岩及火山岩组成;古生界石炭系阿木山组(C₂a)主要由石灰岩及长石砂岩、硬砂岩等组成;古生界二叠系下统大石寨组(P₁d)由中酸性火山岩、细碧角斑岩夹砂岩、板岩及大理岩组成;二叠系上统林西组(P₂l)主要由一套碳质板岩、粉砂质板岩、粉砂岩、砂岩组成;侏罗系上统万宝组(J₂w)主要由凝灰质砂岩、砂砾岩组成,侏罗系上统满克头鄂博组(J₃m)主要由酸性火山岩、凝灰岩、砂岩、砂砾岩组成,侏罗系上统玛尼吐组(J₃mn)主要由中性火山岩、凝灰质碎屑岩组成,侏罗系上统白音高老组(J₃b)主要为酸性火山岩,局部见中性火山岩、火山碎屑岩、砂岩、砂砾岩夹煤层;区内第四系广泛分布,以全新统湖沼沉积物、风积沙、冲-洪积砂砾及松散堆积物为主^①。

区内褶皱构造较发育,一系列背斜、向斜组成米生庙复背斜,矿区就位于米生庙复背斜西段轴部。区内断裂构造以北东向压性断裂为主,其次为近东西向压扭性断裂和北西向张性断裂。区内矿床的分布与断裂构造关系密切,北东向断裂控制了矿带的展布,而北西、近东向构造控制了矿床和矿体的就位^①。区内岩浆岩广泛分布,主要为华力西期片麻状石英闪长岩、燕山期花岗岩和花岗斑岩等,呈岩基、岩株产出,以燕山期中酸性侵入岩分布面积较大,其展布总体上呈北东向。区内各类脉岩也较发育,受北东向构造控制,成群、成带状出现,主要有花岗斑岩脉、流纹斑岩脉等。

① 内蒙古自治区第九地质矿产勘查开发院. 2003. 内蒙古自治区克什克腾旗拜仁达坝矿区银多金属矿详查报告.

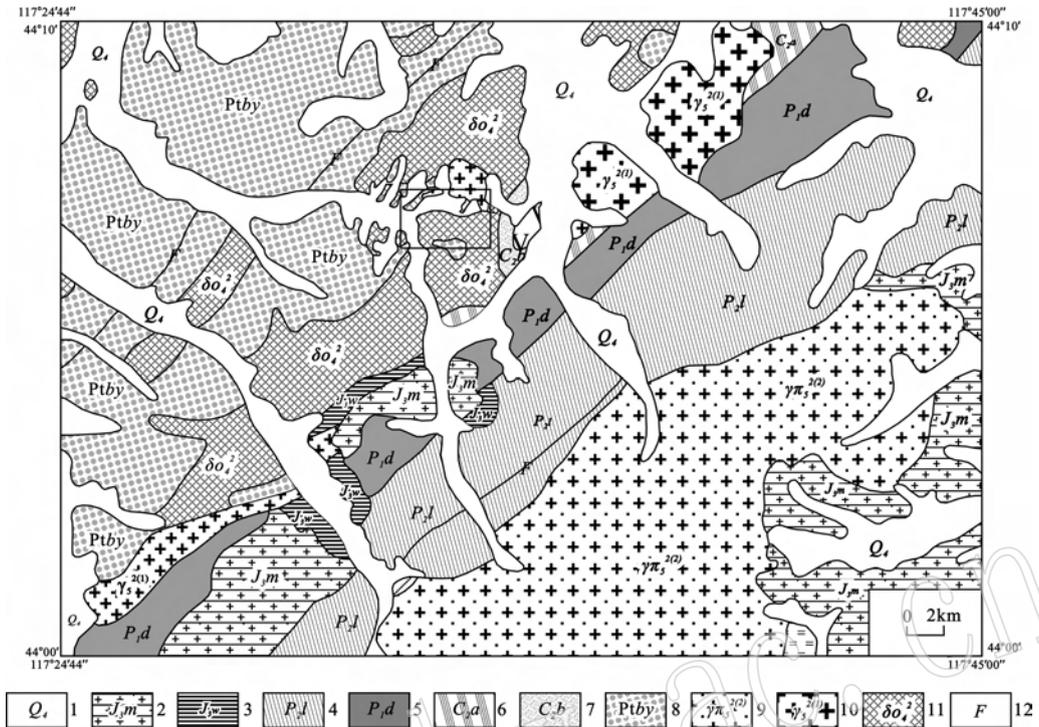


图1 拜仁达坝银多金属矿区域地质图(据内蒙古自治区第九地质矿产勘查开发院,2003^①)

Fig. 1 Regional geological map of the Bairendaba silver polymetallic deposit in Inner Mongolia (modified from No. 9 Institute of Geology and Mineral Exploration of Inner Mongolia, 2003)^①

1—第四系;2—侏罗系上统满克头鄂博组;3—侏罗系中下统万宝组;4—二叠系上统林西组;5—二叠系下统大石寨组;6—石炭系上统阿木山组;7—石炭系上统本巴图组;8—下元古界宝音图组;9—燕山期早期侵入岩-花岗斑岩;10—燕山期早期中粒花岗岩;11—海西期(华力西期)石英闪长岩;12—断层

1—Quaternary; 2—Upper Jurassic Manketou'ebo Formation; 3—Lower Jurassic Wanbao Formation; 4—Upper Permian Linxi Formation; 5—Lower Permian Dashizhai Formation; 6—Upper Carboniferous Amushan Formation; 7—Upper Carboniferous Benbatu Formation; 8—Lower Proterozoic Baoyintu Formation; 9—Early Yanshanian granite porphyry; 10—Early Yanshanian granite; 11—Middle Hercynian quartz diorite; 12—fault

2 矿床地质特征

拜仁达坝银多金属矿区面积约 10 km²,以 57 勘探线为界可划分为东西 2 个矿区。东矿区已发现 54 条矿体,其中 1 号矿体规模最大,长度大于 3 000 m,向西一直延伸到西矿区的纵深部位。2 号、3 号、6 号、29 号和 13 号等矿体规模较大。已探明储量为银 4598.28 t、铅 50.30 × 10⁴ t、锌 105.43 × 10⁴ t;西矿区已发现 5 条矿体,其中 3 号矿体规模较大,据槽探、井探、硐探和钻孔验证,均见矿。估算储量银可达 4 000 t,铅锌可达 1.5 × 10⁶ t^①。

矿区出露地层单一,仅出露下元古界宝音图组黑云斜长片麻岩、二云斜长片麻岩和角闪斜长片麻

岩(图 2)。宝音图组地层呈一走向北东 36°~61°、倾向北西、倾角 35°~58°的单斜构造,与区域地层产状一致。黑云斜长片麻岩、二云斜长片麻岩和角闪斜长片麻岩呈残留顶盖形式分布于矿区及其南北两侧,其下为变质深成侵入体,由华力西期片麻状石英闪长岩组成,其中含多条斜长角闪岩脉(主要由斜长石和角闪石组成的深色脉岩^①)(图 2)。受中生代以来的区域构造影响,华力西期石英闪长岩呈似片麻理构造,片麻理产状与地层产状一致。矿体即赋存于宝音图组黑云斜长片麻岩、二云斜长片麻岩、角闪斜长片麻岩及华力西期片麻状石英闪长岩中。矿区内断裂较发育,以北东向断裂为主,其次为北西向和近东西向断裂,近东西向压扭性断裂是矿区主要控矿构造,北西向张性断裂是次要控矿构造。矿区范

① 内蒙古自治区第九地质矿产勘查开发院. 2003. 内蒙古自治区克什克腾旗拜仁达坝矿区银多金属矿详查报告.

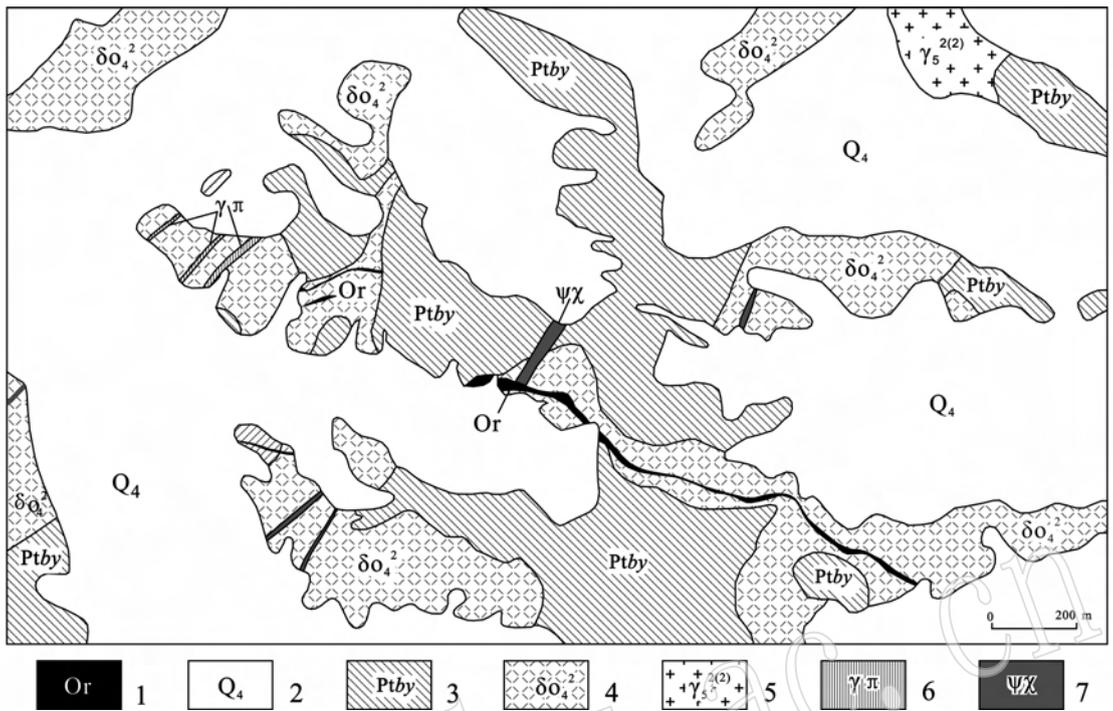


图 2 内蒙古拜仁达坝银多金属矿矿区地质图(据内蒙古自治区第九地质矿产勘查开发院,2003^①)

Fig. 2 Geological map of the Bairendaba silver polymetallic deposit in Inner Mongolia (modified from No. 9 Institute of Geology and Mineral Exploration of Inner Mongolia, 2003^①)

1—矿体;2—第四系;3—宝音图组黑云斜长片麻岩;4—华力西期石英闪长岩;5—燕山早期晚阶段花岗岩;6—花岗斑岩脉;7—斜长角闪岩脉
1—ore body; 2—Quaternary; 3—Baoyintu Formation; 4—Variscan quartz diorite; 5—granite of late stage of Early Yanshanian period; 6—granite porphyry dyke; 7—plagioclase-hornblende dyke

围内出露的岩浆岩包括华力西期片麻状石英闪长岩、燕山期花岗斑岩、流纹斑岩和各种脉岩。

钻孔资料显示,矿体总体呈层状-似层状(图 3),走向近东西,倾向北,倾角 10°~50°,个别矿体走向北西,倾向北东,倾角 26°~34°。从已有资料看,东矿区矿石中 Ag 含量较高,最高可达 2 800 × 10⁻⁶,Pb 和 Zn 含量一般在 4.5% 左右;西矿区矿石中 Zn 含量较高,最高可达 14.6%,Ag 和 Pb 含量一般;东矿区和西矿区过渡带,矿石中 Ag、Pb、Zn 含量均高^①。根据野外脉体的穿插关系、矿石结构构造特征和矿物组合分析,矿床主要经历了以下 3 个成矿阶段:

I:石英-多金属硫化物阶段,主要矿物组合为黄铁矿、闪锌矿、方铅矿、硫锑铅矿、磁黄铁矿、毒砂、白铁矿、黄铜矿、赤铁矿、石英、萤石。

II:萤石-水白云母阶段,主要矿物组合为萤石、水白云母、方解石,可见少量黄铜矿、磁黄铁矿、黄铁矿、闪锌矿、方铅矿、硫锑铅矿、毒砂、白铁矿等。

III:方解石-硫化物阶段,主要矿物组合为方解石、黄铜矿、黄铁矿等。

其中第 I、II 阶段在矿区较发育,而 III 阶段表现较弱。第 I 阶段是主要的成矿阶段,其次是第 II 阶段,第 III 阶段仅见有少量矿化。

根据矿石的构造特征可以将该矿区的矿石类型分为块状、浸染状、条带状、脉状、网脉状矿石。通过主要矿石样品的岩矿相分析和部分金属矿物的扫描电镜/能谱(SEM/EDS)和电子探针(EPMA)分析,该矿区主要金属矿物为闪锌矿、方铅矿、白铁矿、黄铁矿、磁黄铁矿、毒砂、黄铜矿、硫锑铅矿等,主要非金属矿物为石英、萤石、方解石和水白云母。部分金属矿物的显微镜下照片和电子探针分析结果见图 4 和表 1。闪锌矿和方铅矿是矿床的主要矿石矿物。从电子探针结果(表 1)可以看出,矿区闪锌矿含铁较高(10.17%~10.76%),其中一个样品测出较高的铜含量,分析可能是其中含超显微固溶体出溶的黄铜

① 内蒙古自治区第九地质矿产勘查开发院. 2003. 内蒙古自治区克什克腾旗拜仁达坝矿区银多金属矿详查报告.

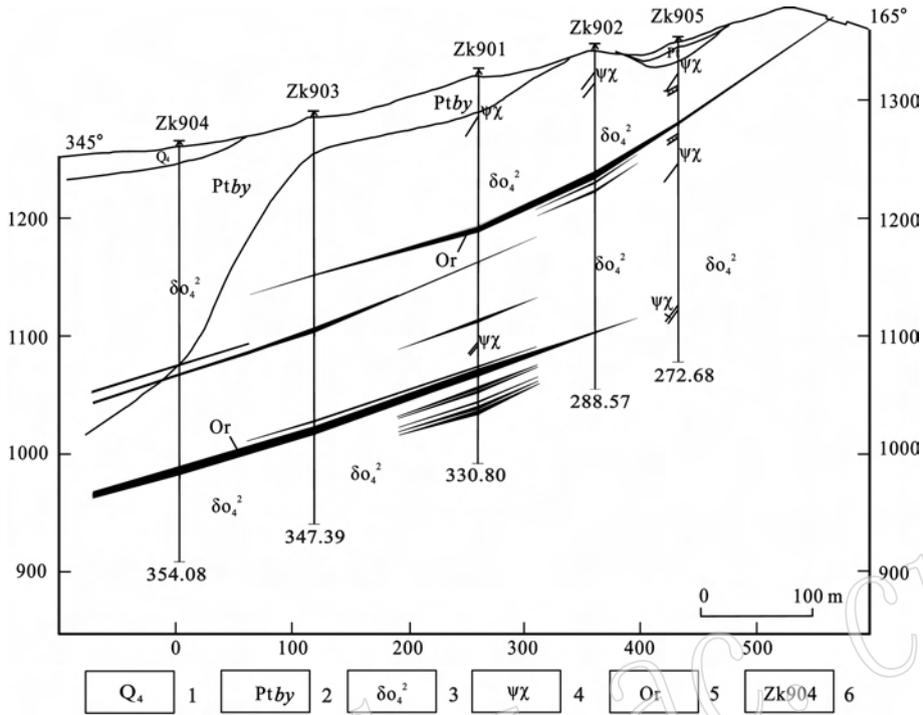


图3 拜仁达坝9线地质剖面图(据内蒙古自治区第九地质矿产勘查开发院,2003^①)

Fig. 3 Geological section along No. 9 exploration line in the Barendaba silver polymetallic deposit (modified from No. 9 Institute of Geology and Mineral Exploration of Inner Mongolia, 2003^①)

1—第四系;2—黑云斜长片麻岩;3—华力西期石英闪长岩;4—斜长角闪岩脉;5—矿(化)体;6—钻孔位置及编号

1—Quaternary; 2—biotite plagiogneiss; 3—quartz diorite; 4—plagioclase-hornblende dyke; 5—ore body; 6—location and serial number of drill hole

矿所致。电子探针分析在中国地质大学地学实验中心电子探针室进行,所用仪器为日本岛津公司生产的EPMA-1600型电子探针仪,分析范围 $B_5 \sim U_{92}$ 。白

铁矿在矿区较普遍,呈变胶状结构或呈片状赤铁矿假像(图4a),常见被黄铁矿交代现象。硫锑铅矿常呈不规则状或片状交代闪锌矿(图4b)和方铅矿,有

表1 主要金属矿物电子探针分析结果
Table 1 EPMA analyses of main metallic minerals

$w_B/\%$

样品号	矿物	S	Pb	As	Sb	Fe	Zn	Cu	Co	Ni	Re	Se	Sn	Te	总量
BR-15	硫锑铅矿	21.07	40.58	0.13*	33.17	2.75	-	0.64*	0.72	-	-	-	-	-	99.04
	闪锌矿	32.72	-	-	-	10.69	54.31	0.84*	-	0.48*	-	0.36*	-	-	99.41
	闪锌矿	33.47	-	-	-	16.76	38.29	10.54	-	0.07*	-	-	-	-	99.13
	黄铁矿	52.75	-	0.09*	-	46.50	0.59*	-	-	-	-	-	-	-	99.93
	毒砂	19.10	-	44.61	-	34.68	-	0.44*	-	-	-	-	0.10*	0.09*	99.32
	闪锌矿	32.68	-	-	-	10.17	56.57	-	0.02*	-	-	0.14*	-	-	99.59
BRD-8	黄铁矿	51.71	-	0.13*	-	45.45	-	0.95*	0.72*	-	-	0.14*	-	-	99.11
	磁黄铁矿	39.10	-	-	-	60.79	-	-	0.66*	0.27*	-	-	-	-	100.82
	方铅矿	13.18	85.86	-	-	-	-	-	-	-	0.36*	-	0.31*	-	99.71
	黄铜矿	34.23	-	-	-	29.23	-	36.04	-	-	-	-	-	-	99.50

注: * 为低于检出限, - 为未测。

① 内蒙古自治区第九地质矿产勘查开发院. 2003. 内蒙古自治区克什克腾旗拜仁达坝矿区银多金属矿详查报告.

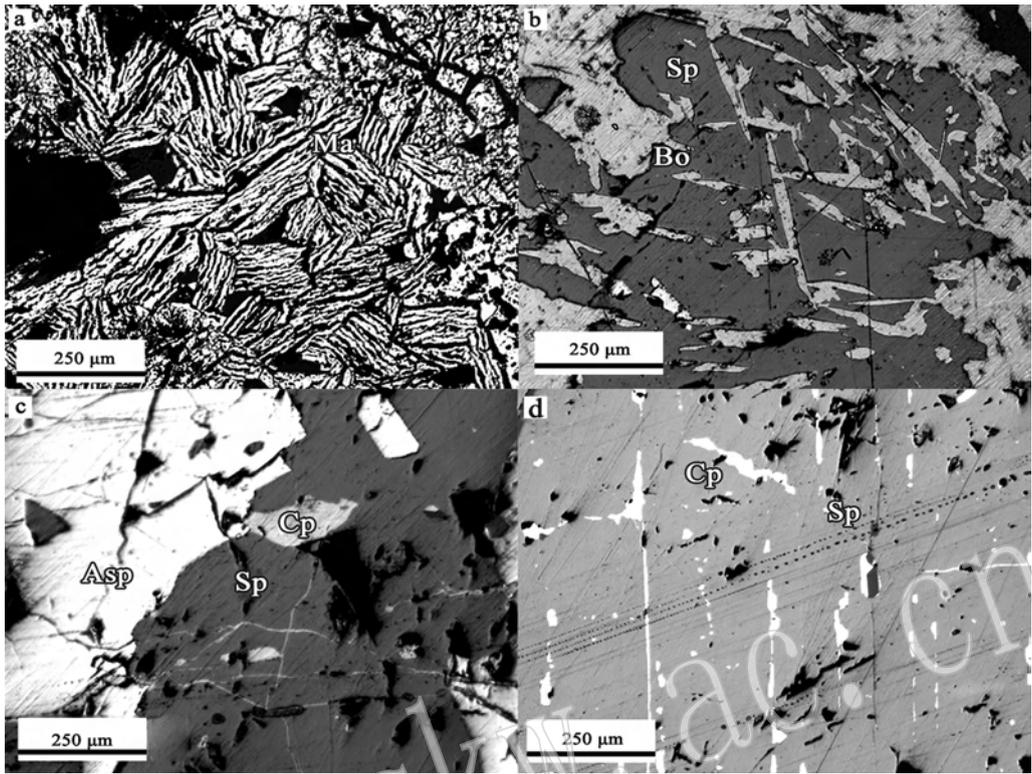


图4 矿石组成的矿相显微镜下照片

Fig. 4 Microphotograph of mineral assemblage

a—变胶状及呈片状赤铁矿假像的白铁矿(Ma); b—硫锑铅矿(Bo)交代闪锌矿(Sp); c—闪锌矿中自形毒砂(Asp)及填隙黄铜矿; d—闪锌矿(Sp)中黄铜矿(Cp)呈叶片状结构

a—meta-colloidal and pseudomorph marcasite(Ma); b—boulangerite(Bo) replacing sphalerite(Sp); c—euhedral arsenopyrite(Asp) and interstitial chalcopyrite in sphalerite(Sp); d—chalcopyrite(Cp) assuming unmixing flaky texture of solid solution in sphalerite(Sp)

时可见呈针状包裹于石英、萤石中;毒砂主要呈自形晶产于石英脉中(图4c),与磁黄铁矿、黄铜矿共生;黄铜矿常在闪锌矿中呈填隙结构或固溶体分离结构(图4d),或与磁黄铁矿构成共边结构。

3 流体包裹体研究

3.1 样品及测试方法

包裹体研究所用样品分别采自东、西两个矿区,样品的详细情况见表2,样品主要为第I阶段的石英和第II阶段的萤石,第III阶段的方解石不甚发育,暂未进行详细的包裹体显微测温工作。包裹体显微测温分析在北京科技大学包裹体实验室进行,仪器为Linkam THMS 600型冷热台,温度范围为 $-196 \sim +600^{\circ}\text{C}$,冷冻数据和均一温度数据精度分别为 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 和 $\pm 1.0^{\circ}\text{C}$ 。包裹体中气液相成分的显微激光拉曼探针(LRM)分析在中国地质科学院矿产资源研究所包裹体实验室和中国科学院地质与地球物理

表2 包裹体研究样品描述

Table 2 Description of samples for fluid inclusion study

样号	描述	采样位置
BR-16	含石英、萤石的块状闪锌矿矿石	西矿区
BR-18	围岩中矿化石英脉	西矿区
BR-20	萤石、粘土矿物团块	西矿区
BRD-7	含石英、毒砂的闪锌矿矿石	东矿区
BRD-9	细脉状闪锌矿、黄铁矿、方铅矿	东矿区
BR-21	闪锌矿、磁黄铁矿共生	西矿区
BR-15	脉状黄铁矿、闪锌矿共生	西矿区
BRD-32	细脉状方铅矿、磁黄铁矿	东矿区
BR-57	石英硫化物脉,含毒砂、闪锌矿、黄铁矿	西矿区
BRD-245	含黄铁矿、闪锌矿的石英团块	西矿区
BRD-232	黄铜矿、闪锌矿细脉切穿石英脉	西矿区
BR-263	萤石、闪锌矿、磁黄铁矿共生	西矿区
BR-253	含有毒砂、磁黄铁矿、闪锌矿的萤石脉	西矿区
BR-266	含星点状黄铁矿和磁黄铁矿的萤石粘土矿脉	西矿区
BRD-235	含毒砂、闪锌矿的石英脉	东矿区

研究所包裹体实验室进行,仪器为 Renishaw-2000 型显微共焦激光拉曼光谱仪,光源为 Spectra-Physics 氩离子激光器,波长 514 nm,激光功率 20 mW。硫同位素分析在国土资源部同位素地质开放重点实验室进行,仪器为 MAT-251EM 型质谱计进行,测试方法详见田世洪等(2005)。

3.2 包裹体岩相学特征

通过详细的显微镜下观察发现,该矿床无论是石英还是萤石中均含有大量流体包裹体,大小自一

至数十个微米不等,包裹体多为透镜状、长圆形、负晶形状和不规则状。根据流体包裹体在室温下的相态特征,并结合显微测温分析和 LRM 分析结果,将其分为 3 类(图 5)。

AV 类:室温下由气相和液相组成,气相充填度一般在 10% ~ 15% 左右。主要发育于第 II 阶段萤石中,少量发育在第 I 阶段石英中。显微测温分析表明,该类包裹体具有较低的均一温度和盐度,LRM 分析其气液相成分中均以 H_2O 为主。

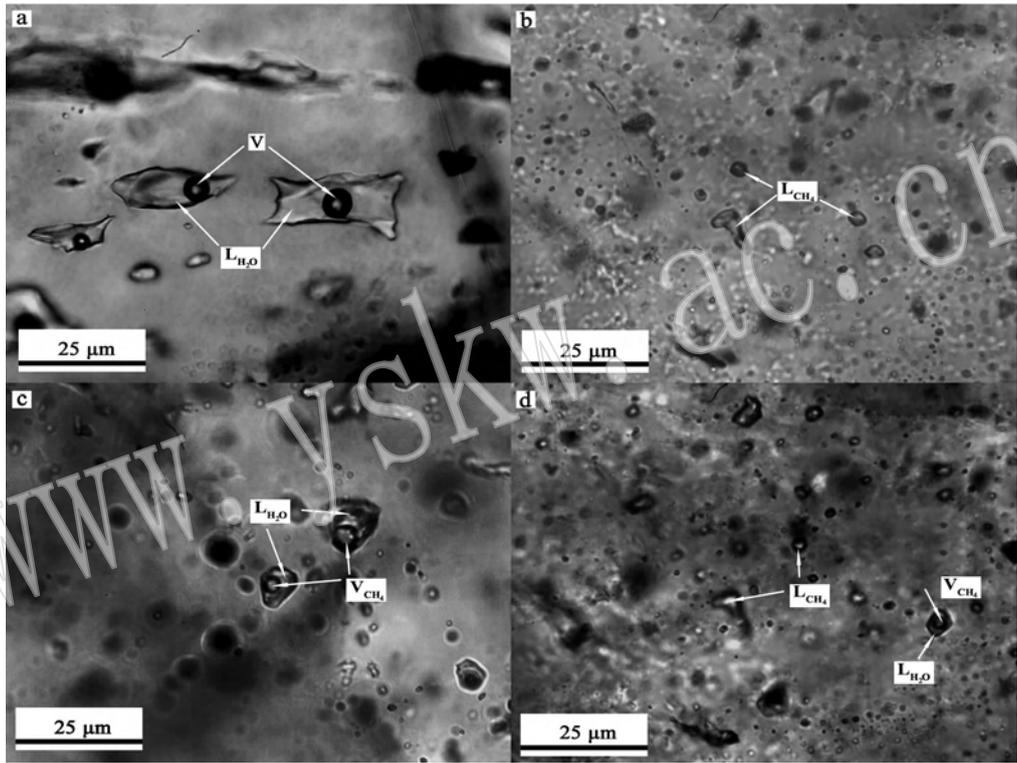


图 5 拜仁达坝银多金属矿床流体包裹体的显微镜下照片

Fig. 5 Microphotograph of fluid inclusions in the Barendaba silver polymetallic deposit

a—萤石中的气液两相包裹体(AV 类);b—石英中的纯 CH_4 包裹体(CH 类);c—石英中富 CH_4 包裹体(AC 类);d—石英中纯 CH_4 包裹体(CH 类)与富 CH_4 包裹体(AC 类)共生

a—aqueous-vapor fluid inclusion(AV type) in fluorite; b—pure CH_4 fluid inclusion(CH type) in quartz; c— CH_4 -rich fluid inclusion(AC type) in quartz; d—pure CH_4 (CH type) and CH_4 -rich(AC type) fluid inclusions in quartz

AC 类:室温下由水溶液相和富 CH_4 液相组成,富 CH_4 相充填度一般在 15% ~ 25%。LRM 证实其气泡相中以 CH_4 为主,少数含一定的 CO_2 。第 I 阶段石英中多发育此类包裹体,且常与 CH 类包裹体共存。

CH 类:室温下由单一的液相组成,镜下表现较暗,冷冻至 $-150^\circ C$ 左右时出现气泡,且继续降温至 $-196^\circ C$ 没有冻住的迹象,后经 LRM 分析其为纯 CH_4

包裹体。该类包裹体主要发育于第 I 阶段石英中,常与 AC 类包裹体共生,在萤石中未发现此类包裹体。

3.3 包裹体显微测温分析

对石英和萤石中的包裹体进行了显微测温分析,其部分结果列于表 3。从表 3 中可以看出:萤石中 AV 类包裹体均一温度在 $152 \sim 306^\circ C$ (萤石),多集中在 $150 \sim 250^\circ C$ 范围内,冰点温度 $-0.8 \sim -6.1^\circ C$,据冰点估算的盐度在 1.4% ~ 9.34%

表3 AV和AC类包裹体的显微测温分析结果

Table 3 Microthermometric analyses of AV and AC type fluid inclusions in quartz and fluorite

样号	矿物	类型	气相充填度/%	均一温度范围/℃	均一温度平均/℃	冰点范围/℃	盐度范围(NaCl)/%	盐度平均(NaCl)/%
BR-16	萤石	AV	10~15	178~253(11)	206	-2.1~-2.6(3)	3.50~4.30	4.00
BR-18	石英	AC	15~20	225~312(13)	264	-2.2~-1.1(3)	1.90~3.70	2.50
BR-20	萤石	AV	10~15	157~177(13)	167	-2.5~-3.2(5)	3.90~5.30	4.48
BRD-245	石英	AV	10~20	196~283(8)	220	-3.5~-6.0(8)	5.70~9.20	7.40
BRD-232	石英	AV	10~15	218~275(8)	236	-1.7~-3.3(2)	2.90~5.41	4.15
BR-263	萤石	AV	5~15	162~235(4)	196	-2.0~-3.9(3)	3.39~6.30	5.30
BR-253	萤石	AV	5~20	176~306(7)	218	-2.7~-6.1(6)	4.49~9.34	6.45
BR-266	萤石	AV	10~15	152~184(4)	160	-0.8~-4.4(4)	1.40~7.02	3.64
BRD-235	石英	AC	15~30	197~343(9)	266	-2.9~-5.6(9)	4.80~8.68	6.20
BRD-32	石英	AV	10	207~282(14)	245	-3.7~-3.9(2)	6.30~6.01	6.16
BR-57	石英	AC	10~40	228~284(8)	256	-3.0~-3.9(6)	4.96~6.30	5.77
BR-15	石英	AV	10~15	209~287(10)	237	-3.4~-4.3(3)	5.56~6.74	6.00
BR-9	石英	AV	10~15	255~296(9)	266	-4.0~-4.2(3)	6.45~6.59	6.50
BR-21	石英	AV	15	215~266(9)	243	-3.1~-3.4(3)	5.11~5.56	5.36
BR-7	石英	AC	10~40	187~332(15)	294	-2.2~-4.0(3)	3.71~6.45	4.88

NaC_leq(质量分数,下同);石英中AC类包裹体的均一温度为187~343℃,多集中在200~300℃,冰点温度为-1.7~-6.0℃,据冰点温度估算的盐度为2.9%~9.2% NaC_leq(计算公式引自刘斌等,1999)。CH类包裹体的均一温度很低,在-114.5~-151℃。据CH₄在低温下的相图(卢焕章等,2004)估算的CH₄密度在0.336~0.407 g/cm³,摩尔体积在39.41~47.04 g/cm³。据CH₄的摩尔体积和与其共生的AC类包裹体的均一温度估算的压力为120~300 MPa。由于该矿床可见黄铁矿、闪锌矿与磁黄铁矿共生,因此同时利用闪锌矿地质压力计进行了压力估算,其结果为175~241 MPa,两者之间相差不大,其均值在200 MPa左右。

3.4 包裹体气液相成分的LRM分析

主要对石英和萤石中的AV类、AC类和CH类流体包裹体进行了气液相成分的LRM分析,部分谱图列于图6。从图6中可以看出,萤石中AV类包裹体气液相均只显示了H₂O峰,未见CO₂和CH₄等存在;而石英中AC类包裹体的气泡相和CH类包裹体在2 013~2 017 cm⁻¹处显示了明显的峰值,表明其由CH₄组成,CH类包裹体大多只显示了CH₄的存在,表明其应为纯CH₄包裹体,少数CH类包裹体在1 282和1 386 cm⁻¹处显示了低的峰值,表明其中存在少量的CO₂。

富CH₄包裹体在本矿区是首次报道。

4 成矿流体的特征、演化和矿床成因初探

前人研究和野外调研可以看出,矿床处于大兴安岭南西段北东向银多金属矿带,该成矿带的展布受北东向区域构造控制,而矿体的赋存均明显受近EW向和NNW向断裂控制。在1:200万内蒙古区域地质图(内蒙古地矿局,1994)中,燕山期中酸性侵入岩呈北东的带状分布(图7)(一些规模较小的岩体和脉岩未包括在内),受NE向断裂构造控制明显。通过燕山期中酸性侵入岩体与矿床(点)之间的空间关系分析(图7),区内已知内生矿床(点)多分布于岩体内或岩体外围0~10 km范围内,表明两者之间具有一定的成生联系。包裹体显微测温和成分分析表明,成矿流体以中低温、低盐度为主,但石英中AC类包裹体均一温度最高可达343℃,表明成矿流体早期可达高温范围。石英中AC类包裹体的均一温度均值高于萤石中AV类包裹体,而二者盐度差别不大;AC类包裹体中CH₄含量较高,并发现与AC类包裹体共生的纯CH₄包裹体。从矿石结构构造特征和镜下岩矿相分析可知,含富CH₄流体包裹体的石英多形成于第I阶段,含富水包裹体的萤石主要形成

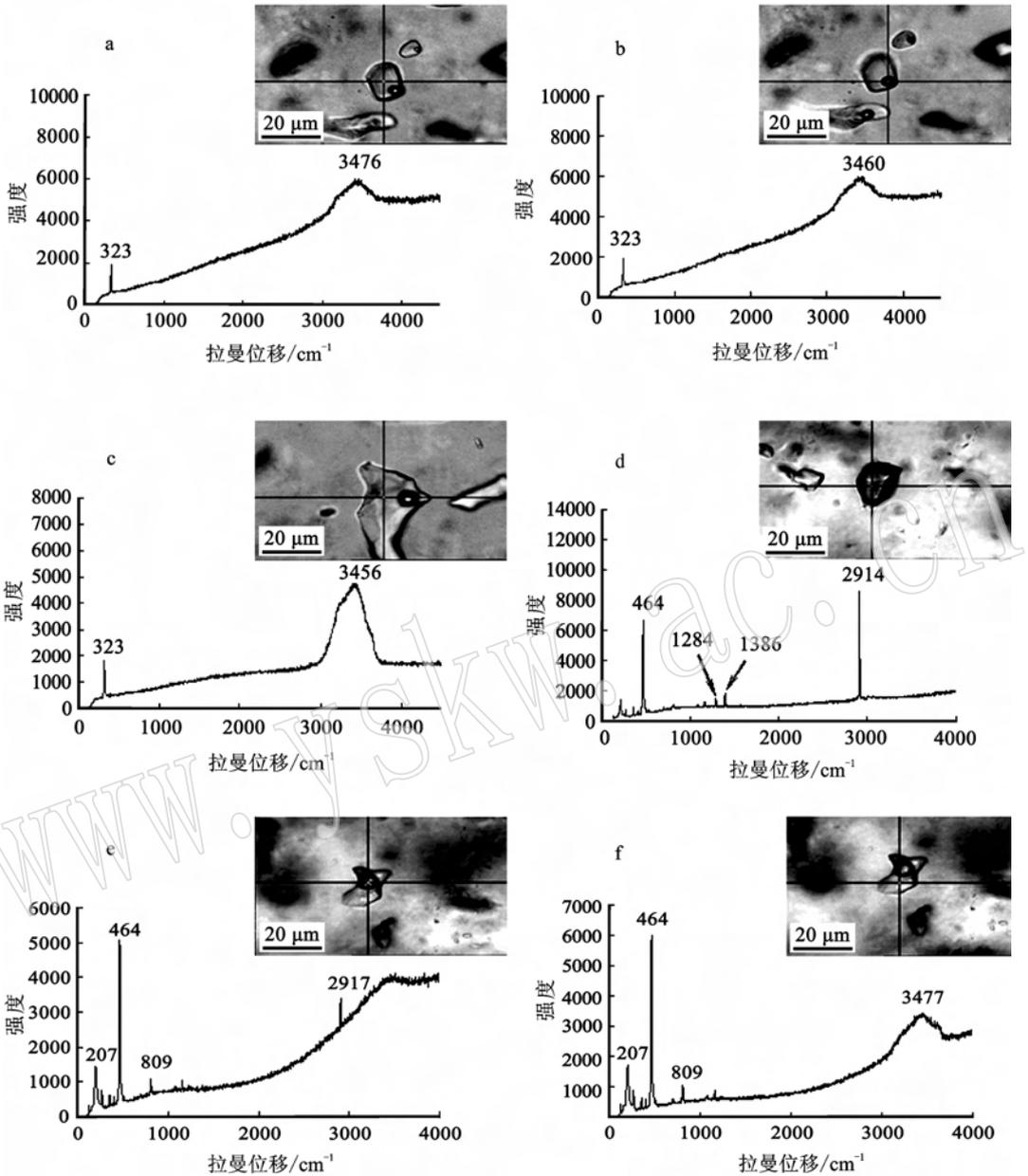


图6 包裹体中气液相成分的LRM谱图

Fig. 6 LRM spectra of fluid inclusions in quartz and fluorite

a—萤石中AV类包裹体液相;b—萤石中AV类包裹体气相;c—萤石中AV类包裹体液相;d—石英中CH类包裹体;
e—石英中AC类包裹体气泡相;f—石英中AC类包裹体水溶液相

a—aqueous phase of AV type fluid inclusion in fluorite; b—vapor phase of AV type fluid inclusion in fluorite; c—aqueous phase of AV type fluid inclusion in fluorite; d—CH type fluid inclusion in quartz; e—bubble phase of AC type fluid inclusion in quartz; f—aqueous phase of AC type fluid inclusion in quartz

于第Ⅱ成矿阶段,因此成矿流体的温度显示出从高温到中低温的演化趋势,且早期以富 CH_4 流体为主,晚期以富水为主。从矿床地质特征、区域内矿床的空间分布规律及矿区蚀变特征上看,该矿床是一受构造控制的与燕山期中酸性岩浆活动有关的中低温热液矿床。该矿床流体包裹体中富 CH_4 的发现表

明其具有低的氧逸度,而矿物组合中以硫化物为主也表明成矿流体的还原特点。但矿石中常可见以赤铁矿假像出现的白铁矿和黄铁矿交代白铁矿的现象,同时早期石英中含赤铁矿包裹物,这些表明,成矿流体有从高氧逸度到低氧逸度变化的趋势,即从氧化环境到还原环境。一般认为刚从岩浆中出溶的

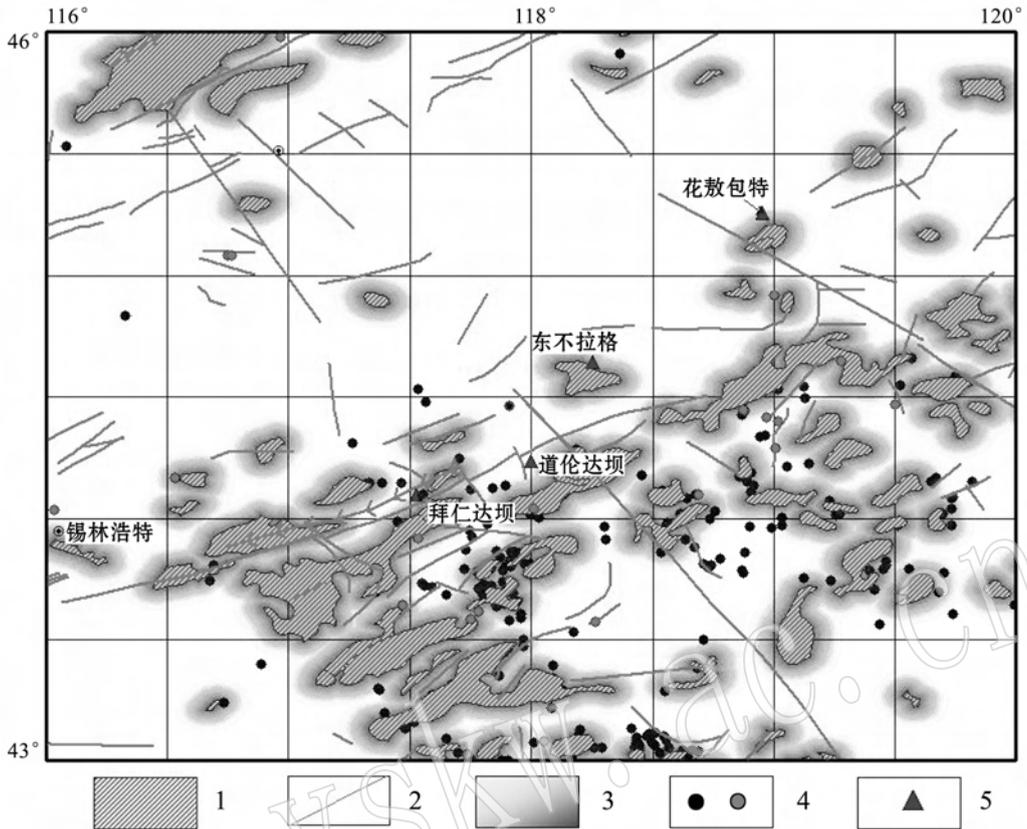


图7 大兴安岭中南段燕山期岩浆岩与内生金属矿床分布的空间关系

Fig. 7 Spatial relationship between Yanshanian intrusion and endogenous deposit in central-southern Da Hinggan Mountains

1—燕山期侵入岩;2—断层;3—岩体0~10 km缓冲区;4—矿(床)点;5—研究矿床(点)位置;燕山期岩浆岩分布资料引自内蒙古地质局(1994);矿(床)点资料引自内蒙古自治区地质矿产局^①

1—Yanshanian intrusion; 2—fault; 3—0~10 km buffer area of the Yanshanian intrusive body; 4—mineral deposit (ore spot); 5—location of mineral deposit (ore spot) in this study; distribution of Yanshanian intrusion according to Inner Mongolia Bureau of Geology(1994); location of mineral deposit according to Inner Mongolia Bureau of Geology^①

流体是强氧化流体 (Ishihara, 1981), 具有高的氧逸度, 而本矿区也应有早期的强氧化流体, 但主成矿期以还原流体为主, 其原因可能是由于大气降水或变质水加入引起的氧逸度降低。

关于富 CH_4 包裹体在本矿区尚属首次报道, 对其中 CH_4 的来源及对成矿的意义尚有待进一步研究。 CH_4 可以有以下两种可能来源: ① 深源流体。前人研究表明, 深源流体本身可以富含 CH_4 , 这在现代火山喷气、岩浆岩中的包裹体和地幔捕虏体中流体包裹体研究中可以得到证据 (夏林圻等, 1994)。Saxena 等 (1988) 通过对具有碳质球粒陨石组成的原始地幔的相平衡计算指出, 原始地幔流体以 CH_4 为主, 最高可达 90%。有些碱性岩包裹体中含 CO_2 极少, 甚至不含 CO_2 , 但气相中含 CH_4 达 70%~90%

(中国科学院地球化学研究所, 1998), 大洋中脊流体中及腾冲火山区高温温泉气中均含有大量的 CH_4 , 这些表明来自深源的 CH_4 是可能的; ② 来自二叠系地层中的变质流体。区内二叠系为一套富含碳质的泥质、粉砂质岩石, 其中含碳较高, 有时可呈碳质页岩 (变质后为碳质板岩), 在受后期岩浆活动影响而发生热变质过程中会产生富 CH_4 流体。

5 结论

(1) 内蒙古拜仁达坝银多金属矿床是一受构造控制的、与燕山期中酸性岩浆活动有关的中低温热液矿床。

(2) 成矿流体具有早期为中高温、低盐度、富

① 内蒙古自治区地质矿产局. 1995. 内蒙古自治区区域矿产总结.

CH₄ 流体,晚期为中低温、低盐度富水流体,成矿主要在中低温范围内。主成矿期氧逸度较低,但早期可能存在高氧逸度流体。

(3) 矿带和矿体的赋存明显受构造控制,NE 向区域构造控制燕山期中酸性侵入岩的分布,同时控制矿带的展布,而 NNW 和近 EW 向的张性构造是矿区内的主要控矿构造。

致谢 野外工作中得到内蒙古地质矿产局有关领导、拜仁达坝矿业有限责任公司各级领导、公司生产技术部侯部长和王桂华工程师等的大力协助;在数据测试分析中得到中国地质科学院矿产资源研究所田世洪博士、徐文艺博士,中国科学院地质与地球物理研究所范宏瑞博士、胡芳芳博士,中国地质大学尹京武博士等的大力帮助,在此一并致谢。

References

- Guo Lijun, Ge Changbao, Feng Zhen, *et al.* 2004. The exploration process and prospects of the Bairendaba Ag-Pb Polymetallic deposit in eastern Xilin Hot, Inner Mongolia [J]. *Geophysical and Geochemical Exploration*, 28(5): 394 ~ 397, 401 (in Chinese with English abstract).
- Inner Mongolia Geological Bureau. 1994. *Regional Geology of Inner Mongolia* [M]. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese).
- Institute of Geochemistry of China Academy of Science. 1998. *Advanced Geochemistry* [M]. Beijing: Science Press.
- Ishihara S. 1981. The granitoid series and mineralization [J]. *Econ. Geol.*, 75th Anniv, 458 ~ 484.
- Lu Huanzhang, Fan Hongrui, Ni Pei, *et al.* 2004. Fluid Inclusion [M]. Beijing: Science Press (in Chinese).
- Saxena S K and Fei Y. 1988. Fluid mixture in the C-H-O system of high pressure and high temperature [J]. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 52: 505 ~ 512.
- Tian Shihong, Ding Tiping, Hou Zengqian, *et al.* 2005. REE and stable isotope geochemistry of the Xiaotongguanshan copper deposit, Tongling, Anhui [J]. *Geology in China*, 32(4): 604 ~ 613 (in Chinese with English abstract).
- Xia Linqi and Cao Ronglong. 1990. Study on characteristics of fluid in upper mantle of Xilong area, Zhejiang Province [J]. *Chinese Science Bulletin*, 35(11): 844 ~ 847 (in Chinese).
- Zheng Fanshen, Cai Hongjun and Zhang Zhenfa. 2006. The discovery of superlarge silver-lead-zinc deposits in airendaba and Veilasitulo, Inner Mongolia, and its ore-prospecting significance [J]. *Geophysical and Geochemical Exploration*, 30(1): 13 ~ 20, 25 (in Chinese with English abstract).
- 郭利军,葛昌宝,冯贞,等.2004.内蒙古锡林浩特东部拜仁达坝银铅多金属矿勘查过程及远景评述[J].*物探与化探*,28(5):394~397,401.
- 卢焕章,范宏瑞,倪培,等.2004.流体包裹体[M].北京:科学出版社.
- 内蒙古地矿局.1994.内蒙古自治区区域地质志[M].北京:地质出版社.
- 田世洪,丁悌平,侯增谦,等.2005.安徽铜陵小铜官山铜矿床稀土元素和稳定同位素地球化学研究[J].*中国地质*,32(4):604~613.
- 夏林圻,曹荣龙.1990.浙江西塞地区上地幔流体性质的研究[J].*科学通报*,35(11):844~847.
- 郑翻身,蔡红军,张振法.2005.内蒙古拜仁达坝维拉斯托超大型银铅锌矿的发现及找矿意义[J].*物探与化探*,30(1):13~20,25.
- 中国科学院地球化学研究所.1998.高等地球化学[M].北京:科学出版社.

附中文参考文献