内蒙古拜仁达坝银多金属矿区矿石矿物特征及矿床成因

钟日晨 杨永飞 石英霞 李文博

(北京大学造山带与地壳演化教育部重点实验室,北京 100871)

提要:笔者对内蒙古克什克腾旗拜仁达坝矿区银多金属矿床的矿物组合、矿石的结构构造特征进行了研究,确认围岩蚀变主要为硅化、钾化、绢云母化、绢英岩化、绿泥石化、萤石化、碳酸盐化、粘土化;成矿作用分为 4 个阶段,即胶状黄铁矿–石英阶段、毒砂–铁闪锌矿–磁黄铁矿–石英阶段、多金属硫化物–石英阶段为银矿化主要阶段和萤石–碳酸盐–石英阶段。该矿床流体包裹体以气液两相、中低温、低盐度、含 CO_2 为特征。该矿形成的大地构造背景、矿床地质及流体包裹体特征表明该矿床可能为浅成低温热液型银多金属矿床或造山型矿床,或是二者的叠加。

关 键 词:拜仁达坝银多金属矿区;内蒙古;中亚造山带;浅成低温型银矿床;造山型银矿床

中图分类号:P618.52 **文献标志码**:A **文章编号**:1000–3657(2008)06–1274–12

拜仁达坝矿银多金属矿田位于内蒙古克什克腾旗巴音高勒苏木境内,西乌珠穆沁旗旗府所在地巴彦乌拉镇以南 55 km, 地理坐标为 44°6′49.2″N,117°32′36.8″E, 大地构造位置位于中亚造山带东段兴蒙造山带,拜仁达坝矿田的发现是本世纪初中国地质找矿工作的重要成果之一。矿田自北东向南西由拜仁达坝矿区和维拉斯托矿区 2 个银多金属矿组成,其中拜仁达坝矿区包括拜仁达坝矿段和银都矿段。该矿田以储量大、品位高为特点, 其中银都矿段已探明银储量为 4598.3 t,铅 50.3 万 t,锌为 105.4 万 t;拜仁达坝矿段银可达 4000 t,铅锌可达 150 万 t;维拉斯托矿区预测远景资源量银可达 2000 t,铅锌铜可达 300 万 t。矿石银品位多在 15~1300 g/t, 最高可达 2800 g/t, 平均 400g/t,铅锌平均品位为 4.5%[1],为特大型富银铅锌矿床。

拜仁达坝银多金属成矿区目前已成为华北克拉通北缘最大的银多金属成矿区, 预示着该区具有重大找矿潜力。但该区地质找矿工作主要依赖于物化探异常验证[1, 2],地质工作程度较低,矿床地质特征和矿床成因类型研究薄弱,制约了找矿实践工作。笔者对拜仁达坝银多金属矿床矿石矿物特征进行了系统研究,确定了矿石矿物组合、结构构造、元素赋存状态,划分了成矿作用期次,总结了矿床地质特征,结合前人的流体包裹体研究成果, 初步确定了矿床成因类型,为今后的科研和找矿工作提供依据。

1 区域地质

拜仁达坝银矿田主要出露锡林郭勒杂岩、石炭—二叠系岛弧火山–沉积建造及中生代陆相沉积岩、火山岩(图 1)。锡林郭勒杂岩为变质岩,其原岩为早古生代岛弧火山–沉积建造[3–5],岩性组合包括黑云斜长片麻岩、角闪斜长片麻岩、斜长角闪片岩、变粒岩及透镜体状或脉状斜长角闪岩 [5], 锆石 SHRIMP U–Pb 年龄下限为 (437±3) Ma, 上限为 (316±3) Ma[4]。石炭—二叠系由老到新包括上石炭统本巴图组、阿木山组,下二叠统大石寨组,上二叠统林西组。本巴图组岩性主要为深灰、灰绿、黄绿色硬砂岩、长石砂岩夹含砾砂岩、砾岩及灰岩,下部为

收稿日期:2008–11–14;**改回日期**:2008–11–28

基金项目:国家重点基础研究发展规划项目(2006CB403501)和国家自然科学基金项目(40502011)资助。

作者简介:钟日晨,男,1986 年生,本科生,地质专业; E–mail:zhongrichen@yahoo.com.cn。

通讯作者:李文博,男,副教授,从事矿床学和矿产普查与勘探教学科研工作;E–mail:liwenbo@pku.edu.cn。

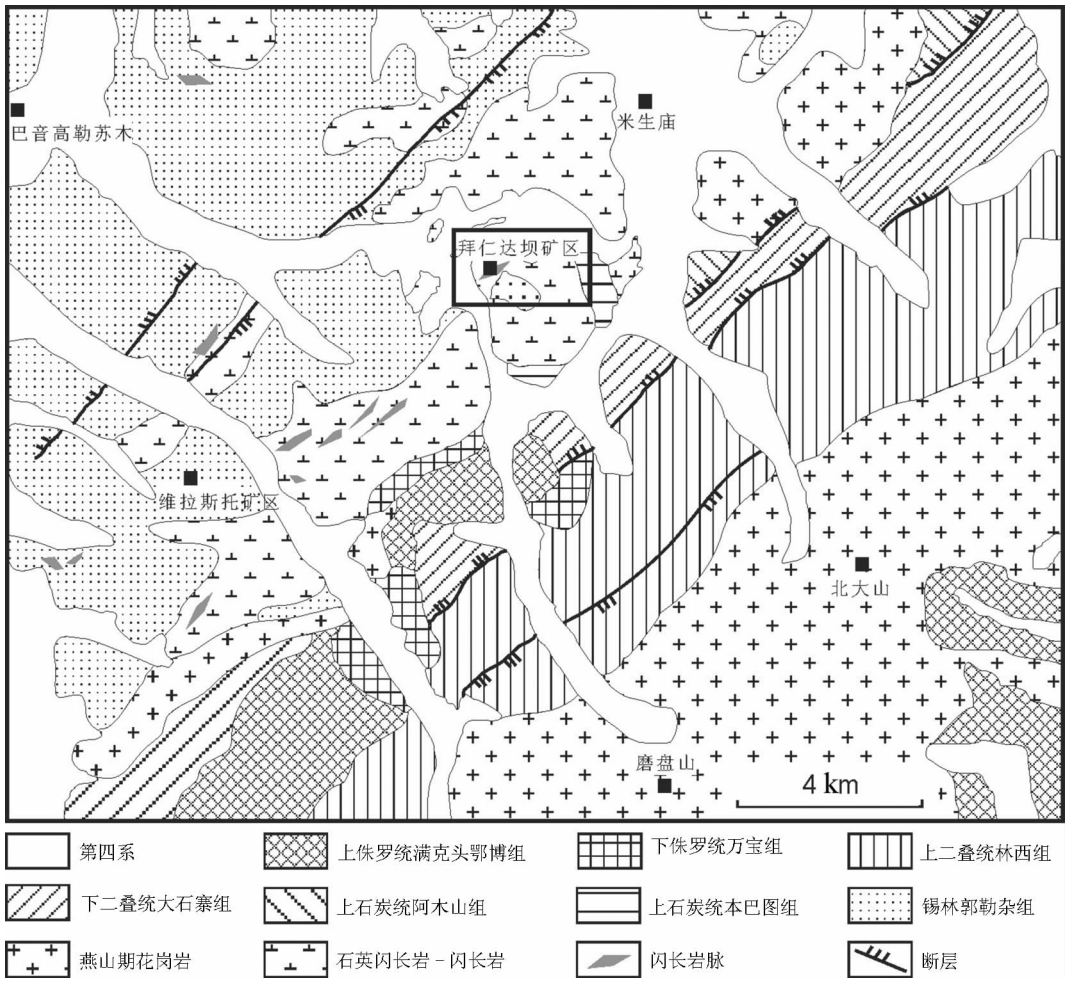


图 1　内蒙古拜仁达坝矿田区域地质图❶

Fig.1　Regional geological map of the Bairendaba orefiled, Inner Mongolia❶

一套酸性火山岩;阿木山组与本巴图组呈连续沉积,为一套海相碎屑岩、碳酸盐沉积建造,下部为灰色生物碎屑灰岩夹含砾砂岩、硬砂岩,上部为厚层块状生物碎屑灰岩夹砂岩、砂砾岩❶;本巴图组和阿木山组为岛弧环境火山-沉积建造[6];大石寨组为一套深灰色、黄绿色、暗灰色长石砂岩、粉砂岩、粉砂质板岩、粉砂质泥岩和安山岩、安山质玄武岩、流纹岩夹凝灰质砾岩,属海陆交互相碎屑岩与火山碎屑岩;林西组岩性为深灰—灰黑色厚层状粉砂质炭质板岩、变质粉砂质泥岩夹粉砂质砾岩[7]。中生代陆相地层仅局部发育,包括下侏罗统万宝组和上侏罗统满克头鄂博组。万宝组岩性为灰色、深灰色、黑色泥岩、含炭质泥岩、粉砂岩、砾岩夹煤层,为含煤陆相湖盆沉积;满克头鄂博组为以灰色、灰绿色流纹岩、流纹质熔结凝灰岩为主的酸性火山岩[7]。

区域侵入岩主要为海西中期石英闪长岩-闪长岩、闪长岩脉和燕山期花岗岩。海西中期石英闪长岩-闪长岩、闪长岩脉的矿物成分主要为石英、斜长石、角闪石,具片麻理构造,片麻理方向与区域构造线一致。其中,米生庙岩体为拜仁达坝矿床的主要赋矿围岩,它侵入到锡林郭勒杂岩及上石炭统本巴图组地层中,并在下二叠统砂砾岩内见其角砾,其同位素年龄为 305 Ma[7]。该岩体暗色矿物为角闪石,浅色矿物为斜长石和石英,副矿物为锆石,不透明矿物为磁铁矿、黄铁矿。燕山期花岗岩类分布于矿区南北两侧,北侧呈小岩珠零星出露,主要为肉红色花岗岩,

❶内蒙古自治区第九地质矿产勘察开发院. 内蒙古克什克腾旗拜仁达坝矿区银多金属矿详查报告, 2004.

具半自形花岗结构、块状构造,矿物成分为石英、斜长石、钾长石及黑云母;南侧为出露于北大山地区的花岗岩基,为浅灰色斑状花岗岩,矿物成分以斜长石为主,石英次之,含少量钾长石,侵入于中下侏罗统地层,但被上侏罗统酸性火山岩覆盖,同位素测年为159 Ma❶。

区内褶皱构造为米生庙复背斜,由一系列的小背斜、向斜组成,褶皱轴向NE,由锡林郭勒杂岩组成复背斜轴部,石炭系、二叠系地层组成翼部(图1)。断裂构造以NE向压性断裂为主,其次为NW向张性断裂,而近EW向压扭性断裂不甚发育,但拜仁达坝矿床矿体受EW向压扭断层控制❶。孙丰月等[8]认为NE向断裂为燕山期构造,EW向压扭断裂可能为NE向断裂的次级构造,但唐克东等[3]认为EW向压扭断裂为晚古生代形成的挤压构造。

中亚造山带包含了多期次的岩浆弧增生地体,不同时代多种属性的微陆块,以及多条代表古洋盆残骸的蛇绿混杂带,被共识为强增生、弱碰撞的大陆造山带或增生型造山带[9-13]。该造山带经历了多期次的洋盆形成、俯冲-消减和闭合,最终形成于古生代末—三叠纪初的中朝板块与西伯利亚古板块之间的大陆碰撞[6, 10, 11, 14-19]。因此,在中亚造山带广泛发育以锡林郭勒杂岩为代表的古生代变质杂岩[3, 4],锡林郭勒杂岩的主要岩性为黑云母斜长片麻岩[4, 5],变质相为角闪岩相,变质作用温度为540~550 ℃,压力为0.5~0.6 GPa,原岩主要为晚古生代岛弧环境的钙碱性火山岩建造[5]。区内主要侵入体——米生庙岩体岩性与苏尼特左旗白音保力道岩体相似,白音保力道岩体的SHRIMP锆石U-Pb年龄为(309±8) Ma,两者同位素年龄相近[7, 18, 19]。据此认为,矿区内石英闪长岩-闪长岩的形成构造背景可能与白音保力道岩体相同,均为石炭纪—二叠纪的岩浆弧[18, 19]。

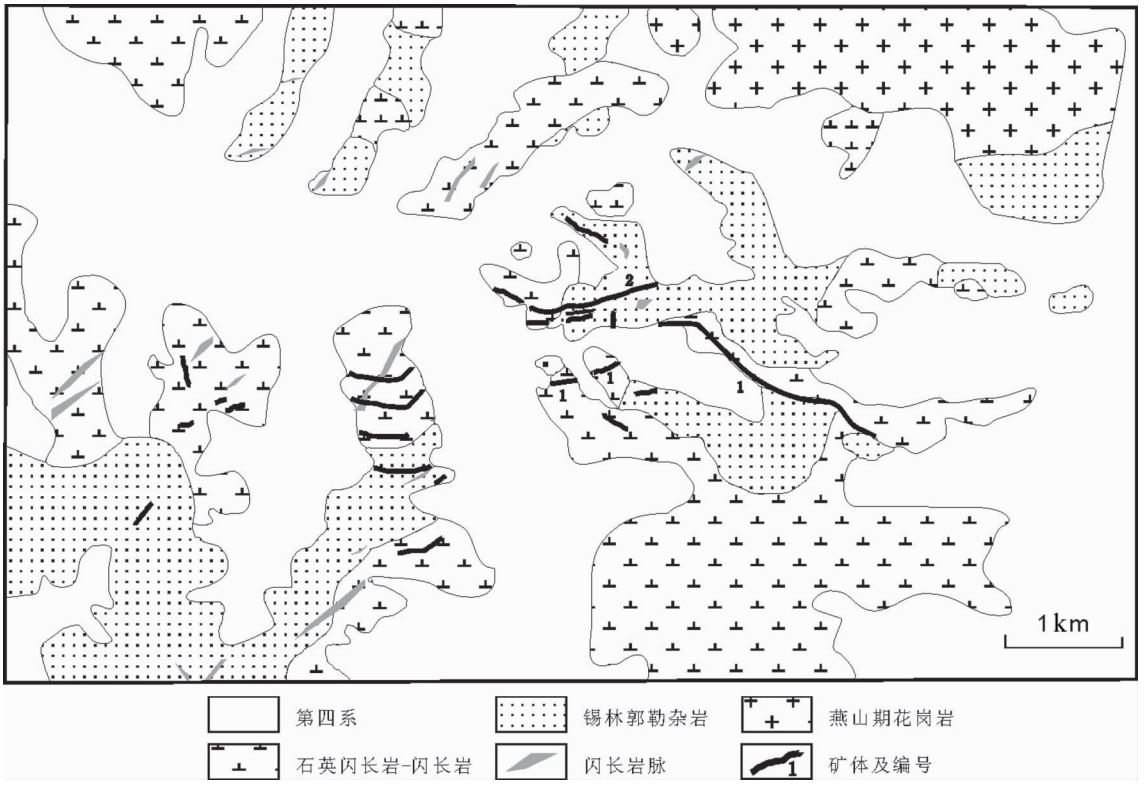


图2 拜仁达坝银多金属矿床矿区地质图❶

Fig.2 Geological map of the Bairendaba Ag polymetallic ore deposit❶

❶内蒙古自治区第九地质矿产勘察开发院. 内蒙古克什克腾旗拜仁达坝矿区银多金属矿详查报告, 2004.

2　矿床地质

2.1　矿体产出特征

拜仁达坝矿区由 54 个矿体组成,其中在地表有露头的矿体 20 个,隐伏矿体 34 个。矿体产于米生庙石英闪长岩-闪长岩岩体及锡林郭勒杂岩的黑云斜长片麻岩中, 主要呈脉状赋存于 EW 向压扭断层中,少数产于 NW 向张性断层。后期 NW 向正断层将矿体错断(图 2)。

笔者所用样品均采自拜仁达坝矿区银都矿段最大的 1 号矿体(图 2),该矿体位于矿区东部,其矿石资源量占矿区总资源量的 77.8%,矿体长 2075 m,延深 120~1135 m, 平均厚度 3.6 m, 平均品位:Ag 251.5 g/t,Pb 2.8%,Zn 6.0%❶。地表以下 14 m 为氧化矿,深部为硫化矿,矿体产状总体较缓,走向近东西、倾向北(49~322°),自西向东倾角变化为 17°~0°~35°~51°,总体上呈西缓东陡趋势❶。

2.2　矿物组合和蚀变类型

通过详细的岩矿相学研究确定原生矿石的主要矿石矿物有磁黄铁矿、铁闪锌矿、方铅矿、黄铁矿、黄铜矿,其次是毒砂、银黝铜矿、辉锑矿等,脉石矿物有石英、碳酸盐、绿泥石、萤石、白云母等;氧化矿中矿石矿物主要为褐铁矿、铅华,其次为孔雀石、蓝铜矿及少量方铅矿、闪锌矿、黄铁矿、磁黄铁矿残留团块,脉石矿物主要为高岭石、石英、长石、绢云母和碳酸盐等。

矿体围岩蚀变强烈、类型复杂,主要蚀变类型包括硅化、钾化、绢云母化、绢英岩化、绿泥石化、萤石化、碳酸盐化、粘土化。近矿围岩蚀变类型以硅化为主,硅化强烈者可形成交代石英岩。总体而言,萤石化、碳酸盐化晚于硫化物沉淀。

2.3　矿石组构

(1)结晶结构:毒砂、辉锑矿呈自形晶结构(图 3-A),磁黄铁矿呈他形粒状结构,黄铜矿、方铅矿、铁闪锌矿等呈他形填隙结构(图 3-B)。

(2)胶状结构:为早期黄铁矿的典型结构,胶状黄铁矿明显早于其他矿物(图 3-C)。

(3)变晶结构:胶状黄铁矿遭受后期重结晶作用,形成变晶结构(图 3-C),重结晶强烈者具有自形晶结构。

(4)纤状结构:放射状白云母充填硫化物张性裂隙。

(5)出溶结构:铁闪锌矿普遍存在固溶体出溶结构。早期铁闪锌矿出溶矿物种类较多,出溶量大(图 3-D);晚期铁闪锌矿出溶矿物仅为黄铜矿,且出溶量小(图 3-B)。

(6)压力结构:毒砂成压碎结构(图 3-E),磁黄铁矿、较早形成的方铅矿形成揉皱(图 3-F),表明毒砂、磁黄铁矿等矿物形成经历了强烈的挤压构造作用。

(7)充填结构:磁黄铁矿形成后在拉伸应力下沿解理裂开,方铅矿、晚期铁闪锌矿、黄铜矿、辉锑矿等充填其空隙(图 3-A、B),并沿解理交代。充填矿物辉锑矿呈自形晶(图 3-A),方铅矿变形微弱,表明辉锑矿、方铅矿等矿物形成后未遭受明显挤压作用。

(8)交代结构:胶状黄铁矿可被后期矿物交代,形成交代残余结构(图 3-G)。磁黄铁矿被方铅矿、黄铜矿、银黝铜矿、晚期铁闪锌矿等交代呈残余结构(图 3-A,H)。毒砂被后期矿物交代形成骸晶结构。

主要矿石构造有:

(1)梳状构造:白云母、石英等脉石矿物呈梳状充填硫化物张性裂隙(图 4-A)。

(2)网脉状构造:可见白云母等脉石矿物呈网脉状充填硫化物裂隙(图 4-A),也可见硫化物网脉状充填围岩裂隙(图 4-B)。

(3)角砾状构造:常见硫化物胶结围岩角砾(图 4-C)或早期硫化物形成角砾被石英、萤石、碳酸盐等胶结。

(4)块状构造:多数矿石呈致密块状构造产出(图 4-D),该类型矿石矿物主要是铁闪锌矿、磁黄铁矿和方铅矿。

(5)浸染状构造:少数硫化物呈浸染状分布于较早形成的石英中(图 4-E)。

(6)晶洞状构造:块状硫化物矿石中发育晶洞状构造,晶洞内含石英、硫化物晶簇(图 4-F)。

2.4　成矿阶段划分

根据上述矿物组合、矿石结构构造,成矿作用可划分为 4 个成矿阶段,即胶状黄铁矿-石英阶段、毒砂-铁闪锌矿-磁黄铁矿-石英阶段、多金属硫化物-石英阶段、萤石-碳酸盐-石英阶段(图 5)。

胶状黄铁矿-石英阶段,形成胶状黄铁矿+石英组合(图 3-C)。

毒砂-铁闪锌矿-磁黄铁矿-石英阶段, 主要矿

❶内蒙古自治区第九地质矿产勘察开发院. 内蒙古克什克腾旗拜仁达坝矿区银多金属矿详查报告, 2004.

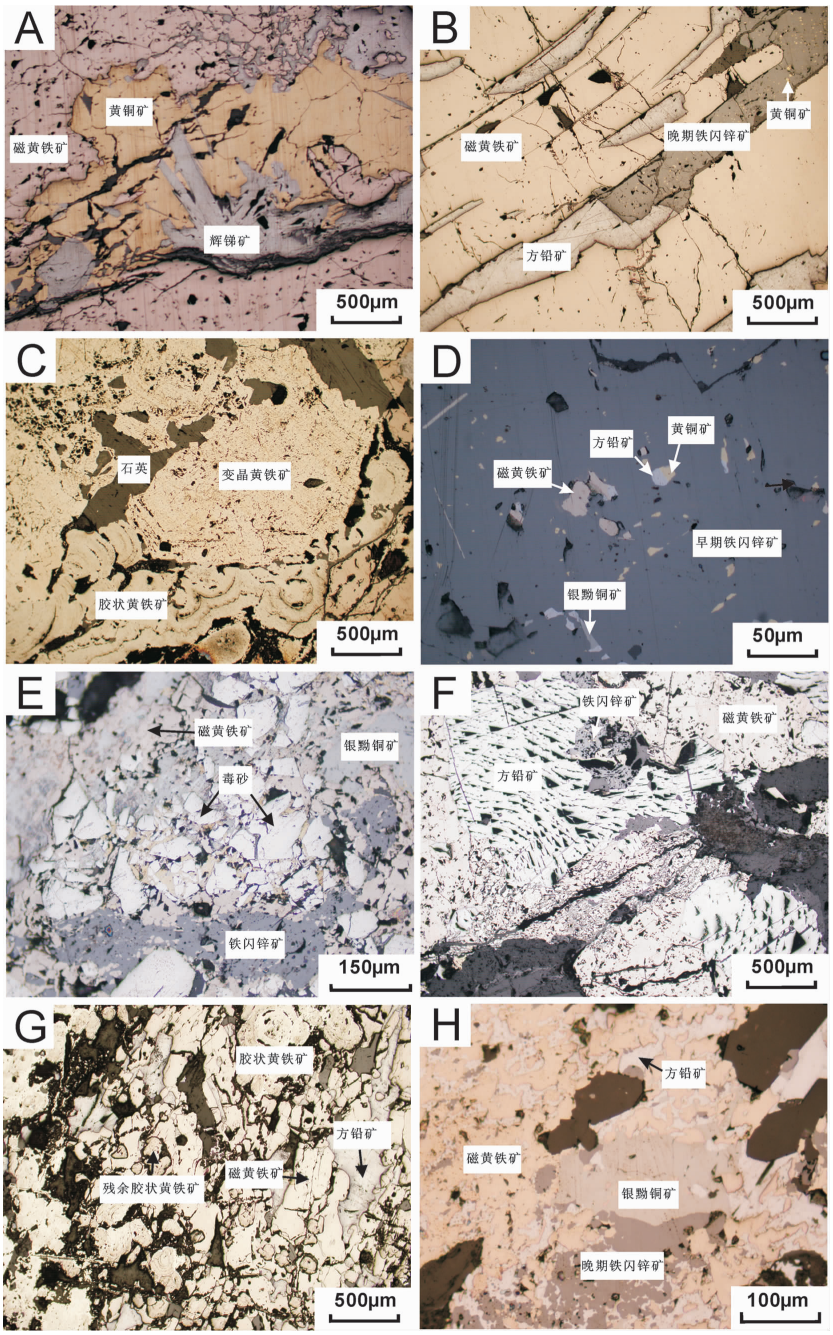


图 3 矿石结构(反射光)

A—辉锑矿呈自形晶结构,辉锑矿、黄铜矿、方铅矿充填磁黄铁矿裂隙,呈充填构造。方铅矿、黄铜矿交代磁黄铁矿,磁黄铁矿呈交代残余结构;B—方铅矿、晚期铁闪锌矿呈他形填隙结构充填磁黄铁矿解理缝,并沿解理交代磁黄铁矿,晚期铁闪锌矿呈出溶结构,出溶少量黄铜矿;C—黄铁矿呈胶状结构,重结晶者具变晶结构;D—早期铁闪锌矿出溶结构,出溶银黝铜矿、方铅矿、磁黄铁矿、黄铜矿;E—毒砂呈压碎结构,并被后期矿物胶结;F—较早的方铅矿呈揉皱结构;G—胶状黄铁矿被磁黄铁矿、方铅矿交代,黄铁矿呈交代残余结构;H—磁黄铁矿被方铅矿、银黝铜矿、晚期铁闪锌矿交代呈交代残余结构

Fig.3 Ore textures(Plan reflected light)

A−Idiomorphic stibnite, allotriomorphic chalcopyrite and galena filled cleavages of pyrrhotite as filling structure. Galena and chalcopyrite replaced pyrrhotite. Pyrrhotite shows replacement remnant texture; B−Allotriomorphic galena and late sphalerite filled cleavage cracks of pyrrhotite and replace pyrrhotite. Late sphalerite shows exsolution texture. The exsolution mineral is a small quality of chalcopyrite; C−Pyrite shows colloform texture. Some recrystallized pyrite shows blastic texture; D−Early sphalerite shows exsolution texture. The exsolution minerals are freibergite, galena, pyrrhotite and chalcopyrite; E−Crushed arsenopyrite fragments were cemented by late minerals; F−Early galena shows corrugation texture; G−Porodic pyrite replaced by pyrrhotite and galena, shows replacement remnant texture; H−Pyrrhotite replaced by galena, freibergite and late sphalerite, shows replacement remnant texture

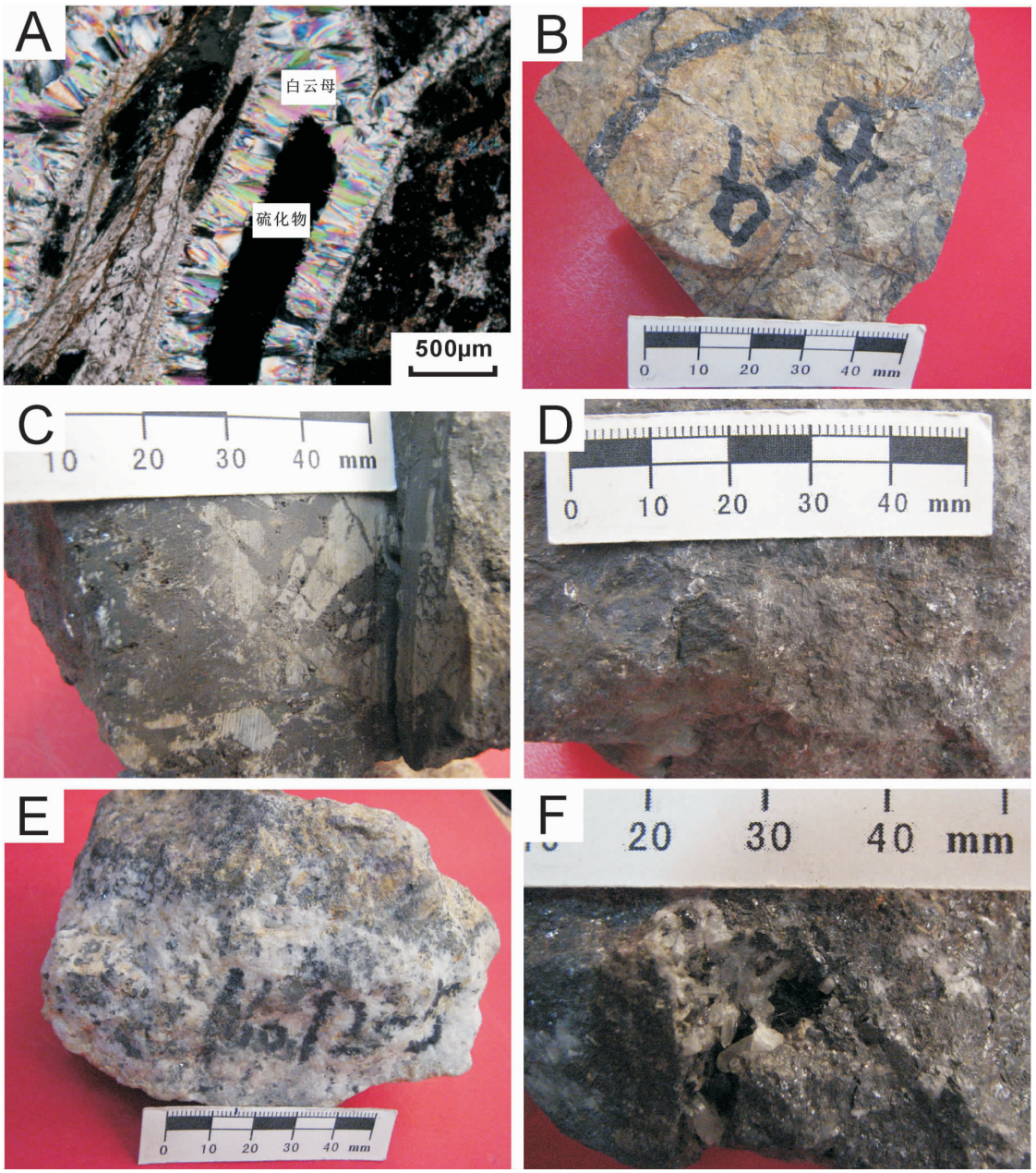


图 4 矿石构造

A—白云母充填硫化物网脉状裂隙,呈梳状构造。正交偏光;B—硫化物充填围岩网脉状裂隙,呈网脉状构造;C—围岩呈角砾构造,被硫化物胶结;D—硫化物呈块状构造;E—硫化物分布于石英中,呈浸染状构造;F—硫化物中晶洞构造,晶洞内含自形石英、硫化物晶簇

Fig.4 Ore Structures

A–Muscovite filling net–veined cracks of sulphides, shows comb structure (Transmitted light); B–Sulphides filled net–veined cracks of wall rock; C–Wall rock breccias were cemented by sulphides; D–Sulphides shows massive structure; E–Sulphides disseminated in quartz; F–Sulphides shows miariliric structure; Quartz and sulphides crystal druses are in the vug

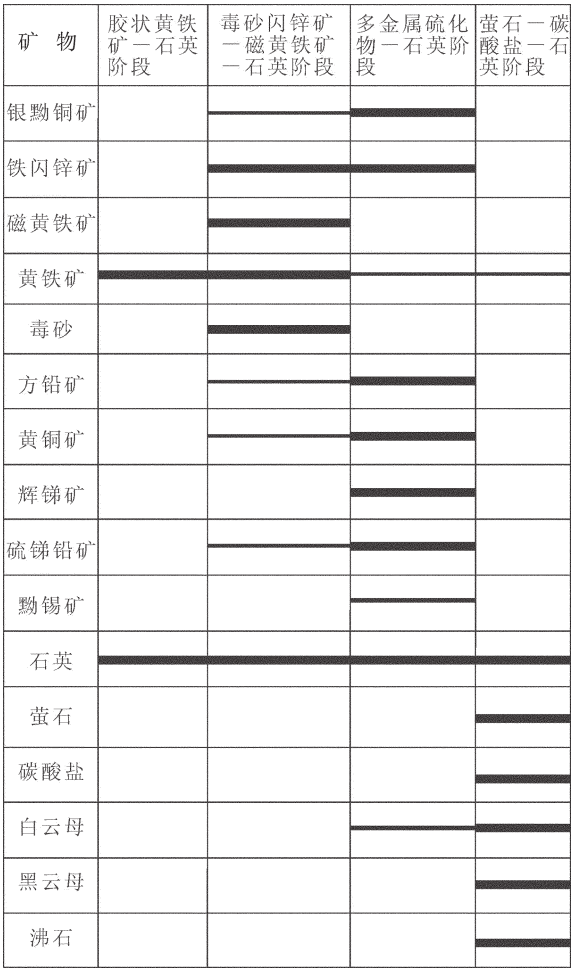


图 5 拜仁达坝银多金属矿床矿物共生组合及生成顺序图

Fig.5 Paragenetic assemblage and sequence of minerals in the Bairendaba Ag polymetallic ore deposit

物组合为毒砂+早期铁闪锌矿+磁黄铁矿+他形黄铁矿+石英,含少量银黝铜矿、方铅矿、黄铜矿、硫锑铅矿。该阶段矿物粒度小,晶形差,普遍遭受挤压应力作用。毒砂出现,早期铁闪锌矿固溶体出溶强烈,表明该阶段矿物形成温度相对较高。

多金属硫化物–石英阶段, 主要矿物组合为晚期铁闪锌矿+方铅矿+黄铜矿+银黝铜矿+辉锑矿+硫锑铅矿+石英,含少量他形黄铁矿、黝锡矿和白云母(图 3–A,H)。该阶段为银矿化主要阶段,矿物完整、洁净,晶体粗大,其生成后未遭受明显挤压应力作用。辉锑矿出现, 晚期铁闪锌矿仅出溶少量黄铜矿,反映该阶段成矿温度较低。

萤石–碳酸盐–石英阶段, 主要形成脉石矿物,硫化物仅为极少量黄铁矿呈微粒分散分布于脉石矿物中。矿物组合为萤石+碳酸盐+白云母+黑云母+沸石+石英+少量黄铁矿(图 4–A),碳酸盐类矿物包括方解石、菱镁矿、菱铁矿、菱锰矿等。

3 矿石矿物特征

笔者对拜仁达坝矿区东部的银都矿段 1 号脉进行了详细的矿石矿物特征研究,结果如下:

(1)银黝铜矿

电子探针分析结果(表 1)显示载银矿物主要为银黝铜矿,并非以前认为的辉银矿❶。大量银黝铜矿形成于多金属硫化物–石英阶段, 该阶段形成的银黝铜矿数量多,晶体大(图 3–H)。而形成于毒砂–铁闪锌矿–磁黄铁矿–石英阶段的极少量银黝铜矿晶体细小。

(2)铁闪锌矿

拜仁达坝矿床闪锌矿均为铁闪锌矿, 透射光下呈红棕色。存在 2 个世代: 早期铁闪锌矿形成于毒砂–铁闪锌矿–磁黄铁矿–石英阶段, 其中广泛存在黄铜矿、磁黄铁矿、银黝铜矿、方铅矿固溶体出溶结构(图 3–D),大量的固溶体出溶表明早期铁闪锌矿形成温度较高。晚期铁闪锌矿形成于多金属硫化物–石英阶段,表面洁净,未受交代,仅有少量黄铜矿出溶, 反映其形成时间晚于多数其他硫化物且形成温度相对较低(图 3–B)。

(3)磁黄铁矿

形成于毒砂–铁闪锌矿–磁黄铁矿–石英阶段,存在两种粒度的磁黄铁矿,粒度较小者有压碎结构,粒度较大者常见其揉皱结构,两者无明显界线,电子探针结果表明二者成分也基本一致。

(4)方铅矿

大量方铅矿形成于多金属硫化物–石英阶段,常充填于磁黄铁矿裂隙中,银含量较高(图 3–B,H)。另有少量方铅矿形成于毒砂–铁闪锌矿–磁黄铁矿–石英阶段,常具有明显的揉皱构造(图 3–F)。

(5)黄铁矿

早期胶状黄铁矿形成于胶状黄铁矿–石英阶段,具胶状结构,部分具重结晶特征(图 3–C),重结

❶内蒙古自治区第九地质矿产勘察开发院. 内蒙古克什克腾旗拜仁达坝矿区银多金属矿详查报告, 2004.

表 1 矿石矿物电子探针分析结果(%)

Table 1 Electron microprobe analysis of ore minerals(%)

点号	矿物名称	S	As	Mn	Pb	Fe	Ag	Co	Cd	Ni	Sb	Cu	Te	Zn	Au	总量
1	磁黄铁矿	39.79	0.03	0.02	0.00	60.41	0.00	0.09	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.04	0.00	100.38
2	磁黄铁矿	39.64	0.00	0.00	0.00	60.28	0.00	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06	0.02	0.16	100.26
3	磁黄铁矿	39.65	0.08	0.01	0.00	60.36	0.00	0.11	0.00	0.00	0.00	0.01	0.03	0.00	0.14	100.40
4	磁黄铁矿*	39.06	0.00	0.05	0.00	57.23	0.06	0.06	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	3.53	0.21	100.24
5	毒砂	21.48	42.65	0.03	0.00	35.11	0.02	0.06	0.06	0.04	1.08	0.00	0.03	0.01	0.00	100.57
6	方铅矿 II	13.93	0.00	0.02	84.00	0.02	1.48	0.00	0.19	0.00	0.09	0.00	0.07	0.00	0.00	99.79
7	方铅矿 II	13.76	0.00	0.00	85.58	0.03	0.72	0.01	0.06	0.04	0.00	0.01	0.09	0.00	0.00	100.29
8	方铅矿*	13.89	0.00	0.04	80.85	0.61	0.08	0.02	0.04	0.00	0.08	0.07	0.00	4.36	0.00	100.03
9	胶状黄铁矿	52.74	0.08	0.00	0.00	46.41	0.00	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	99.29
10	变晶黄铁矿	54.22	0.01	0.00	0.05	46.25	0.01	0.04	0.00	0.00	0.35	0.00	0.04	0.00	0.00	100.96
11	自形黄铁矿	53.60	0.00	0.01	0.00	46.77	0.05	0.05	0.00	0.03	0.00	0.01	0.00	0.00	0.06	100.59
12	他形黄铁矿	52.99	0.00	0.00	0.00	46.52	0.00	0.05	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.02	0.15	99.76
13	黄铜矿 II	35.15	0.05	0.00	0.00	30.56	0.02	0.09	0.04	0.04	0.00	34.26	0.00	0.03	0.00	100.23
14	硫锑铅矿 I	19.46	0.00	0.00	53.89	0.93	0.01	0.01	0.09	0.00	24.40	0.12	0.00	0.28	0.00	99.19
15	硫锑铅矿 II	22.12	0.18	0.07	40.18	2.79	0.00	0.01	0.05	0.00	34.03	0.21	0.00	0.07	0.00	99.69
16	硫锑铅矿 II	21.80	0.07	0.03	43.26	2.72	0.00	0.00	0.04	0.02	31.23	0.03	0.00	0.00	0.00	99.21
17	铁闪锌矿 I	33.82	0.00	0.55	0.00	10.53	0.00	0.04	0.34	0.00	0.00	0.15	0.00	54.90	0.42	100.75
18	铁闪锌矿 I	33.92	0.00	0.25	0.00	10.92	0.00	0.01	0.31	0.02	0.00	0.08	0.02	55.10	0.36	100.97
19	铁闪锌矿 II	33.24	0.07	0.29	0.00	14.02	0.00	0.01	0.38	0.00	0.00	0.04	0.00	51.77	0.46	100.27
20	银黝铜矿 I	23.77	0.62	0.03	0.06	5.55	20.55	0.04	0.00	0.03	25.99	21.70	0.00	0.91	0.15	99.41
21	银黝铜矿 I	23.65	0.54	0.00	0.06	5.87	21.15	0.01	0.00	0.01	25.09	22.60	0.00	1.24	0.00	100.22
22	银黝铜矿 I	23.80	0.66	0.00	0.02	5.81	19.83	0.01	0.00	0.05	26.01	23.38	0.00	1.08	0.06	100.71
23	银黝铜矿 II	23.54	0.46	0.00	0.00	5.43	19.79	0.05	0.07	0.00	26.19	23.54	0.00	1.09	0.00	100.15
24	银黝铜矿*	23.78	0.45	0.03	0.00	6.08	20.56	0.02	0.00	0.00	25.49	21.49	0.00	2.91	0.09	100.91

注:I 表示矿物形成于毒砂-铁闪锌矿-磁黄铁矿-石英阶段;II 表示矿物形成于多金属硫化物-石英阶段,* 表示早期闪锌矿中出溶的矿物。

晶较强者胶状结构完全消失并形成自形黄铁矿。常见其他硫化物充填黄铁矿胶团间隙或自形黄铁矿裂隙,局部可见交代残余结构(图 3-G),表明胶状黄铁矿早于其他硫化物。

晚期他形黄铁矿形成于毒砂-铁闪锌矿-磁黄铁矿-石英阶段,与磁黄铁矿等矿物共生,晶体细小。萤石-碳酸盐-石英阶段形成的脉石矿物中也有细小的黄铁矿零散分布。

(6)毒砂

形成于毒砂-铁闪锌矿-磁黄铁矿-石英阶段,呈自形晶结构,部分形成压碎结构,被其他矿物胶结(图 3-E),常被早期铁闪锌矿、磁黄铁矿交代,形成毒砂骸晶,表明其形成时间略早于该阶段其他矿物,形成温度也较高。

(7)黄铜矿

大量形成于多金属硫化物-石英阶段,与方铅矿共生(图 3-A),极少量形成于毒砂-铁闪锌矿-磁黄铁矿-石英阶段,矿物颗粒较小。黄铜矿矿化与银黝铜矿矿化基本同时发生。

(8)辉锑矿

形成于多金属硫化物-石英阶段,与方铅矿共生,呈自形晶,长柱状(图 3-A),辉锑矿为低温矿物,形成较晚。

(9)硫锑铅矿

大量形成于多金属硫化物-石英阶段,与方铅矿密切共生,晶体较粗大。另有极少量硫锑铅矿形成于毒砂-铁闪锌矿-磁黄铁矿-石英阶段,晶体细小。

(10)黝锡矿

含量极少,镜下呈土黄色。形成于多金属硫化物-石英阶段,与方铅矿共生。

4 成矿元素赋存状态

前人研究表明:银元素以辉银矿、自然银、银黝铜矿、角银矿、银金矿、深红银矿等多种形式存在❶[1, 8, 21, 22]。但经过系统的薄片观察和电子探针测试发现银矿物主要为银黝铜矿,其银含量变化范围为 19.79%~21.15%,形成于多金属硫化物-石英阶段的粗粒银黝铜矿与形成于毒砂-铁闪锌矿-磁黄铁矿-石英阶段的细粒银黝铜矿含银量无明显差别(表 1)。除银黝铜矿外,方铅矿是另外一种重要的载银矿物,形成于多金属硫化物-石英阶段,银含量变化范围为 0.72%~1.48%,而闪锌矿中出溶的方铅矿银含量较低,仅为 0.08%(表 1)。

铁闪锌矿、磁黄铁矿、黄铁矿中含有较高含量的金,磁黄铁矿、黄铁矿金含量普遍在 0.15%以上,铁闪锌矿金含量更达到了 0.46%以上 (表 1)。铁闪锌矿、磁黄铁矿、黄铁矿是矿石中最常见的硫化物,为主要矿石矿物,这表明矿石中的金含量应较高,可能具有综合回收利用的价值。

5 矿床成因类型探讨

拜仁达坝银多金属矿床成因类型主要有两种观点,即与燕山期岩浆活动有关的热液型矿床[8, 20]和沉积变质-中低温热液改造型矿床[1]。刘建明等[20]报道了拜仁达坝银多金属矿床闪锌矿 Rb-Sr 年龄为 116 Ma,认为成矿与燕山期岩浆活动有关;孙丰月等[8]认为该矿床为热液脉型,形成于燕山期构造-岩浆活化作用的中晚期,受控于燕山期形成的北东向断裂派生的次级东西向压扭性断裂及北西向张性断裂;郑翻身等[1]认为矿床为沉积变质-中低温热液改造型,形成于元古宙。尽管闪锌矿 Rb-Sr 法在矿床定年方面具有巨大的潜力,但还存在许多理论和技术问题[23, 24],况且闪锌矿 Rb-Sr 年龄为 116 Ma[20]与矿区燕山期岩体 159 Ma❶存在 43 Ma 年龄差,显然不符合岩浆热液成矿特征。赋矿 EW 向断裂到底是 NE 向的次级断裂,还是在古亚洲洋俯冲、消减闭合及西北利亚板块与华北板块两大板块南北向碰撞挤压时形成的尚有待进一步研究[3, 8]。内蒙古地质志报道该矿床的主要赋矿围岩之一的石英闪长岩同位素年龄为 305 Ma[7],认为其成矿时代为元古宙难以令人信服。

肖利梅等[21]和孙丰月等[8]研究结果表明,拜仁达坝矿床流体包裹体主要为气液两相,成矿温度为 280~300℃,流体包裹体盐度为 5.0%~7.8 %,成矿压力为 76~80 MPa,成矿深度为 6.8~7.2 km,气相成分为 CO_2、CH_4、N_2 和少量有机质。

拜仁达坝银多金属矿床出现黄铁矿胶状结构、梳状构造、角砾状构造、晶洞状构造,与浅成低温热液矿床相似。流体包裹体揭示其成矿温度、流体盐度也接近于高硫型浅成低温热液型矿床[25-27]。虽然该

❶内蒙古自治区第九地质矿产勘察开发院. 内蒙古克什克腾旗拜仁达坝矿区银多金属矿详查报告, 2004.

矿床闪锌矿、磁黄铁矿等金属硫化物显著高于已报道的典型浅成低温热液矿床,但祁进平等[25]研究结果显示,与国外报道的同类型矿床相比,华北克拉通北缘浅成低温热液矿床中黄铁矿、黄铜矿、闪锌矿、方铅矿、银金矿和自然银的出现机率高于西南太平洋地区,绢云母、碳酸盐矿物、绿泥石、高岭石、重晶石的出现机率也偏高,相反,玉髓和冰长石的出现机率低于国外。另外该矿成矿压力较高(76~80 MPa),深度较大(6.8~7.2 km),流体包裹体主要为气液两相、气相成分为 CO_2+CH_4+N_2+少量有机质,矿体赋存于 EW 向压扭断裂,矿体产于锡林浩特杂岩和片理化石英闪长岩中,与造山型矿床相近[26-36]。因此该矿可能为浅成低温型矿床或造山型矿床,也有可能为二者的叠加,这还有待进一步研究。

中亚造山带经历了复杂的造山过程,包括了多期次的洋盆形成、俯冲-消减和闭合,最终是古生代末—三叠纪初的塔里木-中朝板块与西伯利亚古板块之间的大陆碰撞[10, 11, 14-19]。中、新生代期间的陆内伸展和环太平洋构造—岩浆作用的复杂叠加,又为其打上了强烈的陆内垂向增生的烙印。目前普遍认为中亚造山带西段主要为古生代成矿,而中亚造山带东段的成矿作用主要受环太平洋构造域控制[37]。拜仁达坝银多金属矿床成矿作用到底属于古亚洲洋成矿域还是环太平洋成矿域,或是两者的叠加,尚有待研究。

5　结　论

(1)拜仁达坝银多金属矿床矿石结构包括结晶结构、胶状结构、变晶结构、纤状结构、出溶结构、压力结构、充填结构、交代结构;矿石构造主要有梳状构造、网脉状构造、角砾状构造、块状构造、浸染状构造、晶洞状构造。

(2)成矿作用可划分为 4 个成矿阶段,即胶状黄铁矿-石英阶段、毒砂-铁闪锌矿-磁黄铁矿-石英阶段、多金属硫化物-石英阶段、萤石-碳酸盐-石英阶段。

(3)载银矿物主要为银黝铜矿和多金属硫化物-石英阶段的方铅矿,铁闪锌矿、磁黄铁矿、黄铁矿中金含量较高,有综合利用价值。

(4)该矿可能为浅成低温型矿床或造山型矿床,也有可能为二者的叠加。

致谢:野外工作得到内蒙古银都矿业有限公司大力支持;北京大学陈衍景老师指导了研究工作,艾永富老师在矿相学,陈斌、宋述光老师在岩石学,舒桂明、王长秋老师在电子探针工作过程中给予了指导,常勇硕士提供于部分图片,在此一并表示感谢!

参考文献(References):

[1] 郑翻身, 蔡红军, 张振法. 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, 2006, 30(1):13-25.
Zheng Fanshen, Cai Hongjun, Zhang Zhenfa. The discovery of super large silver-lead-zinc deposits in Bairedaba and Weilasitulo, Inner Mongolia, and its ore-prospecting significance [J]. Geophysics & Geochemical Exploration, 2006, 30 (1):13-25 (in Chinese with English abstract).

[2] 郭利军, 葛昌宝, 冯贞, 等. 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, 2004, 28(5):394-407.
Guo Lijun, Ge Changbao, Feng Zhen, et al. The exploration process and prospects of the Bairendaba Ag-Pb polymetallic deposit in eastern Xilin Hot, Inner Monglia [J]. Geophysics & Geochemical Exploration, 2004, 28 (5):394 -407 (in Chinese with English abstract).

[3] 唐克东, 等. 中朝板块北侧褶皱带构造演化及成矿规律 [M]. 北京:北京大学出版社, 1992:180-233.
Tang Kedong, et al. Tectonic Evolution and Minerogenetic Regularities of the Fold Belt along the Northern Margins of Sino-Korean Plate [M]. Beijing: Peking University Press, 1992:180-233 (in Chinese with English abstract).

[4] 施光海, 刘敦一, 张福勤, 等. 中国内蒙古锡林郭勒杂岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年代学及意义 [J]. 科学通报, 2003, 48 (20):2189-2192.
Shi Guanghai, Liu Dunyi, Zhang Fuqin, et al. Age of Xilin Gol complex in Inner Mongolia, China, by U-Pb SHRIMP method and its implication[J]. Chinese Science Bulletin, 2003, 48(20):2189-2192(in Chinese).

[5] 赵光, 朱永峰, 张勇. 内蒙古锡林郭勒杂岩岩石学特征及其变质作用的 p-t 条件[J]. 岩石矿物学杂质, 2002, 21(1):40-48.
Zhao Guang, Zhu Yongfeng, Zhang Yong. Petrology and Metamorphic p-t condition of Xilin Gol complex, Inner Mongolia, China [J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 2002, 21 (1):40-48(in Chinese with English abstract).

[6] 聂凤军, 等. 中蒙边境中东段金属矿床成矿规律和找矿方向[M]. 北京:地质出版社, 2007:193-475.
Nie Fengjun, et al. Metallogenic Studies and Prospecting Orientation in Central and Eastern Segments along China-Mongolia Border[M]. Beijing:Geological Publishing House, 2007:193-475(in Chinese with English abstract).

[7] 内蒙古自治区地质矿产局. 内蒙古自治区区域地质志[M]. 北京:地质出版社, 1991.
Bureau of Geology and Mineral Resources of Nei Mongol

Autonomous Region. Regional Geology of Inner Autonomous Region [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1991 (in Chinese with English abstract).

[8] 孙丰月, 王力. 内蒙古拜仁达坝银铅锌多金属矿床成矿条件[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2008, 38(3):269-276.
Sun Fengyue, Wang Li. Ore forming condition of Bairendaba Ag-Pb-Zn polymetallic ore deposit, Inner Mongolia [J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2008, 38 (3):269-276 (in Chinese with English abstract).

[9] Sengör AMC, Natal'in BA, Burtman VS. Evolution of the Ahaid tectonic collage and Palaeozoic crustal growth in Eurasia[J]. Nature, 1993, 364:299-307.

[10] Xiao Wenjiao, Windley BF, Hao Jie, et al. Accretion leading to collision and the Permian Solonker suture, Inner Mongolia, China: Termination of the central Asian orogenic belt[J]. Tectonics, 2003, 22: 1069-1089.

[11] Xiao Wenjiao, Zhang Lianchang, Qin Kezhang, et al. Paleozoic accretionary and collisional tectonics of the eastern Tianshan (China): Implications for the continental growth of central Asia[J]. American Joumal of Science, 2004, 304:370-395.

[12] 陈衍景. 中国西北地区中亚型造山-成矿作用的研究意义和进展[J]. 高校地质学报, 2000, 6(1):17-22.
Chen Yanjing. Progress in the study of Central Asia -type orogenesis metallogenesis in Northwest China[J]. Geological Journal of China Universities, 2006, (1):17-22 (in Chinese with English abstract).

[13] 邵济安, 张履桥, 牟保磊, 等. 大兴安岭的隆起与地球动力学背景[M]. 北京:地质出版社, 2007:21-24.
Shao Jian, Zhang Lüqiao, Mou Baolei, et al. Upwelling of Da Hinggan Mountains and Its Geodynamic Background[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2007:21-24(in Chinese).

[14] Sengör AMC, Natal'in BA. Paleotectonics of Asia: fragments of synthesis [C]//Yin A, Harrison TM (eds.), The Tectonic Evolution of Asia. Cambridge:Cambridge University Press, 1996, 486-640.

[15] Bazhenov ML, Collins AQ, Degtyarev KE, et al. Paleozoic northward drift of the North Tien Shan (Central Asia) as revealed by Ordovician and Carboniferous paleomagnetism [J]. Tectonophysics, 2003, 366: l13-141.

[16] Chen Yanjing, Chen Huayong, Zaw K, et al. Geodynamic settings and tectonic model of skarn gold deposits in China:an overview[J]. Ore Geology Reviews, 2007, 31:139-169.

[17] Zhang Shuanhong, Zhao Yue, Song Biao, et al. Carboniferous granitic plutons from the northem margin of the North China block: imp1ications for a late Paleozoic active continental margin [J]. Joumal of the Geological Society, London, 2007,164 (2): 451-463.

[18] 陈斌, 赵国春, Simon WILDE. 内蒙古苏尼特左旗南两类花岗岩同位素年代学及其构造意义[J]. 地质论评, 2001, 47(4):361-367.
Chen Bin, Zhao Guochun, Simon WILDE. Subduction -and collision -related granitoids from southern sonidzuoqi, Inner Mongolia:Isotopic Ages and Tectonic Implications [J]. Geological Review. 2001, 47 (4):361-367 (in Chinese with English abstract).

[19] 陈斌. 内蒙古苏尼特左旗南白音宝力道岩体特征与成因——是岛弧岩浆岩而不是埃达克岩[J]. 地质论评, 2002, 48(3):261-266.
Chen Bin. Characteristics and Genesis of the Bayan Bold Pluton in Southern Sonidzuoqi, Inner Mongolia[J]. Geological Review. 2002, 48(3):261-266(in Chinese with English abstract).

[20] 刘建明, 张锐, 张庆洲.大兴安岭地区的区域成矿特征[J]. 地学前缘, 2004, 11(1):269-277.
Liu Jianming, Zhang Rui, Zhang Qingzhou. The regional metallogeny of Dahingganling,China [J]. Earth Science Frontiers, 2004, 11(1):269-277(in Chinese with English abstract) .

[21] 肖利梅. 内蒙古赤峰拜仁达坝银多金属矿矿床特征及成因探讨[D].吉林大学硕士学位论文, 2005.
Xiao Limei. Discussion on Characteristics and Genesis of Formation of Bairendaba Polymetal Ag Deposit, Chifeng,Inner Mongolia[D]. master's degree thesis of Jilin University, 2005 (in Chinese with English abstract).

[22] 许怀凤. 克什克腾旗拜仁达坝多金属矿物研究[J]. 内蒙古电大学刊, 2004, (2):25-41.
Xu Huaifeng. Study on Bairendaba polymetallic minerals of Keshiketeng County [J]. Journal of Inner Mongolia Radio & TV University, 2004 (2) :25-41(in Chinese with English abstract).

[23] 李文博, 黄智龙, 许德如, 等. 铅锌矿床 Rb-Sr 定年研究综述[J]. 大地构造与成矿学, 2002, 26(4):436-441.
Li Wenbo, Huang Zhilong, Xu Deru, et al. Rb -Sr isotopic method on zinc-lead ore deposit : a review [J]. Geotectonica et Metalloginia, 2002, 26 (4):436 -441 (in Chinese with English abstract).

[24] 刘建明, 赵善仁, 沈洁, 等. 成矿流体活动的同位素定年方法评述[J]. 地球物理学进展, 1998, 13(3): 46-55.
Liu Jianming, Zhao Shanren, Shen Jie, et al. Review on direct isotopic dating of hydrothermal ore-forming processes [J]. Progress in geophysics, 1998,13(3):46-55(in Chinese with English abstract).

[25] 祁进平, 陈衍景, 李强之. 华北克拉通北缘浅成低温热液矿床:时空分布和构造环境[J]. 矿物岩石, 2004, 24(3):82-92.
Qi Jingping, Chen Yanjing, Li Qiangzhi. The epithermal deposit in the northern margin of North China Craton: spatiotemporal distribution and tectonic setting [J]. J Mineral Petrology, 2004, 24 (3):82-92(in Chinese with English abstract).

[26] Kerrich R, Goldfarb R, Groves D, et al. The characteristics, origins and geodynamic settings of supergiant gold metallogenic provinces [J]. Science in China (Series D), 2000, 43(Supp):1-68.

[27] 陈衍景, 倪培, 范宏瑞, 等. 不同类型热液金矿系统的流体包裹体特征[J]. 岩石学报, 2007, 23(9):2085-2108.
Chen Yanjing, Ni Pei, Fan Hongrui, et al. Diagnostic fluid inclusions of different types hydrothermal gold deposits [J]. Acta Petrologica Sinica, 2007, 23 (9):2085 -2108 (in Chinese with English abstract).

[28] Groves D I, Goldfarb R J, Gebre M S G, et al. Orogenic gold

deposits:a proposed classification in the context of their crustal distribution and relationship to other gold deposit types [J]. Ore Geology Reviews, 1998, 13:7-27.

[29] Goldfarb R J, Groves D I, Gardoll S. Orogenic gold and geological time:a global synthesis[J]. Ore Geology Reviews, 2001, 18:1-75.

[30] Goldfarb R J, Mao Jingwen, Hart C, et al. Tectonic and metallogenic evolution of the Altay Shan, Northern Xinjiang Uygur Autonomous region, northernwestern China [C]//Tectonic Evolution and Metallogeny of the Chinese Altay and Tianshan, Natural History Museum, London, 2003:17-30.

[32] Haeberlin Y, Moritz R, Fontbote L, et al. Paleozoic orogenic gold deposits in the eastern Central Andes and its foreland, South America[J]. Ore Geology Reviews, 2003, 22:41-59.

[33] Bierlein F P, Christieb A B, Smith P K. A comparison of orogenic gold mineralisation in central Victoria (AUS), western South Island (NZ) and Nova Scotia (CAN): implications for variations in the endowment of Palaeozoic metamorphic terrains [J]. 2004, Ore Geology Reviews, 25:125-168.

[34] Chen Yanjing, Pirajno F, Sui Yinghui. Isotope geochemistry of the Tieluping silver deposit, Henan, China:A case study of orogenic silver deposits and related tectonic setting [J]. Mineralium Deposita, 2004, 39: 560-57.

[35] 张静, 陈衍景, 李国平, 等. 河南内乡县银洞沟银矿地质和流体包裹体特征及成因类型. 矿物岩石[J]. 2004, 24(3):55-64.
Zhang Jing, Chen Yanjing, Li Guoping, et al. Characteristics of ore geology and fluid inclusion of the Yindonggou silver deposit, Neixiang County, Henan Province: implication for metallogenic type[J]. Journal of Mineralogy and Petrology, 2004, 24(3): 55-64 (in Chinese with English abstract).

[36] 李文博, 赖勇, 孙希文, 等. 内蒙古白乃庙铜金矿床流体包裹体研究[J]. 岩石学报, 2007, 23(9):2165-2176.
Li Wenbo, Lai Yong, Sun Xiwen, et al. Fluid inclusion study of the Bainaimiao Cu-Au deposit in Inner Mongolia, China [J]. Acta Petrologica Sinica, 23(9):2165-2176(in Chinese with English abstract).

[37] 洪大卫, 王式光, 谢锡林, 等. 试析地幔来源物质成矿域-以中亚造山带为例[J]. 矿床地质, 2003, 22(1):41-55.
Hong Dawei, Wang Shiguang, Xie Xilin,et al. Metallogenic Province Derived from Mantle Sources: A Case Study of Central Asian Orogenic Belt [J]. Mineral Deposit, 2003, 22 (1):41-55(in Chinese with English abstract).

Ore characters and ore genesis of the Bairendaba Ag polymetallic ore deposit in Keshiketeng banner, Inner Mongolia

ZHONG Ri-chen, YANG Yong-fei, SHI Ying-xia, LI Wen-bo

(*Laboratory of Crustal and Orogenic evolution, Peking University, Beijing* 100871, *China*)

Abstract:Mineral association, ore structures and textures of the Bairendaba Ag polymetallic ore deposit in Keshiketeng banner were confirmed. Wall rock alterations are silicification, potassic alteration, sericitization, phyllic alteration, chloritization, fluoritization, carbonation and argillation. The mineralization process can be divided into four stages: porodic pyrite-quartz stage, arsenopyrite-iron rich sphalerite-pyrrhotite-quartz stage, polymetallic sulphide-quartz stage and fluorite-carbonate-quartz. Polymetallic sulphide-quartz stage is the main stage of silver mineralization. Previous publications on the study of fluid inclusion indicated that the characteristics of fluid inclusion are gas-liquid phases, moderate or low temperature, low salinity, and CO_2 bearing. Based on tectonic setting, geological characters and fluid inclusion characters of the deposit, the Bairendaba deposit might be an epithermal silver deposit or a silver orogenic deposit, or superposition of both.

Key words:Bairendaba Ag polymetallic ore deposit;Inner Mongolia;Central Asian Orogenic Belt;epithermal silver deposit;orogenic silver deposit

---

About the author:ZHONG Ri-chen, male, born in 1986, undergraduate, majors in geology;E-mail: zhongrichen@yahoo.com.cn.

Corresponding author:LI Wen-bo, male, associate professor, engages in teaching and research on ore geology and exploration;E-mail:liwenbo@pku.edu.cn.