

# 内蒙古中西部浅变质岩为容矿围岩的金矿床地质特征及形成过程\*

聂凤军, 江思宏, 侯万荣, 刘翼飞, 肖伟

(中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037)

**摘要** 从地质-构造单元上看, 内蒙古中西部位于华北陆台北缘西段, 区内浅变质岩为容矿围岩的金矿床(点)星罗棋布, 并且具有重要的经济价值, 代表性矿床有常山壕(特大型)、朱拉扎嘎(大型)和赛音乌苏(中型)金矿床。金矿化大都在白云鄂博和渣尔泰裂谷带中元古界砂岩、粉砂岩、碳质板岩、千枚岩和片岩中呈层状、似层状和网脉状产出, 并且与古生代侵入岩脉群具有密切的空间分布关系。研究表明, 尽管上述3处金矿床所处的地理位置不同, 但是它们的产出环境、地质特征和形成机理大体相似, 并且可与乌兹别克斯坦穆龙套超大型金矿床相对比。金成矿作用发生的时间与古大陆边缘裂谷带构造-岩浆活动高峰期相吻合, 其中海西期构造变形和岩浆侵位所诱发的热液活动是导致金矿床形成的主导控制因素。浅变质岩为容矿围岩的金矿床属中-低温热液金矿床, 是地壳特定演化阶段的产物。

**关键词** 地质学 金矿床 浅变质岩 地质特征 时空分布 成矿作用 内蒙古中西部

中图分类号: P618.51

文献标志码: A

## Geological features and genesis of gold deposits hosted by low-grade metamorphic rocks in central-western Inner Mongolia

NIE FengJun, JIANG SiHong, HOU WanRong, LIU YiFei and XIAO Wei

(Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China)

### Abstract

The central-western Inner Mongolia area, located in the western section of the northern margin of the North China Craton, is one of the most important gold metallogenic provinces in North China. The gold deposits and prospects hosted by low-grade metamorphic rocks are widely distributed in two parallel EW-trending Proterozoic rift belts, i. e., the Bayan Obo belt in the north, and the Chaiertaishan belt in the south. Up till now, twenty-three ore deposits and prospects have been discovered, of which Changshanbao, Zhulazaga and Saiyinwusu are the largest ones. Gold mineralization occurs in Proterozoic carbonaceous sandstone, siltstone, carbonaceous phyllite, phyllite, slate and schist in the stratoid layer, stratiform, stockwork and veinlike forms. All these gold deposits are characterized by shallow burial, large-size, simple composition and easy mining. Systematic geological investigations indicate that wall rocks of these deposits and prospects vary from place to place, but most of them show an intimate spatial-temporal relation with the Caledonian ductile-brittle fracture zone and the Hercynian intrusive dyke swarm. Geometry of individual ore bodies is mainly controlled by interstratified fracture zones. All the geological features of the gold deposits hosted by low-grade metamorphic rocks in central-western Inner Mongolia are similar to features of the Muruntau gold deposit in Uzbekistan. The relationship between the regional crustal evolution and gold metallogeny can be summarized as follows: ① Middle Proterozoic stage: tectono-magmatism caused by the intense rifting occurring within the Early Precambrian continent or along its margin resulted in the spatial preparation of gold and

\* 本文得到国家科技支撑项目(2007BAB25B02)的资助

第一作者简介 聂凤军,男,1956年生,研究员,博士生导师,从事金属矿床地质和地球化学研究。Email: nfjj@mx.cei.gov.cn

收稿日期 2009-11-12; 改回日期 2009-12-14。李岩编辑。

other ore-forming materials and formed a number of gold source beds and protores along certain strata; ② Early Paleozoic stage: a number of gold prospects were formed by regional metamorphism and its related hydrothermal event caused by regional tectonic movement and magmatic intrusion, with middle- to large-sized gold deposits of this stage also identified; ③ Late Paleozoic stage: gold deposits with economic significance are considered to have been caused by the re-working of the early formed deep-rooted faults and its related Hercynian mafic to felsic magmatism. The extensional faulting and high alkaline magmatism might have played the key role during the formation of the ore deposits. Geological and geochemical features of the gold deposit hosted by the low-grade metamorphic rocks occurring in central-western Inner Mongolia have aroused much attention among geologists both in China and abroad. An integrated analysis of the geological setting and geological and geochemical features of these deposits and their related intrusive rocks will greatly upgrade the understanding of the ore-forming processes of the gold deposits and prospects hosted by low-grade metamorphic rocks in central-western Inner Mongolia. Meanwhile, the genetic model and mineral exploration criteria of these deposits and prospects can also be used during the comprehensive evaluation of the concealed gold deposits hosted by low-grade metamorphic rocks in central-western Inner Mongolia and its neighboring areas.

**Key words:** geology, gold deposit, low-grade metamorphic rocks, geological feature, spatial-temporal distribution, ore-forming process, central-western Inner Mongolia

本文所指的内蒙古中西部位于内蒙古自治区(宁)一(连浩特)铁路以西早前寒武纪克拉通北缘,主要由白云鄂博和渣尔泰这 2 条近东西向平行分布的裂谷带所构成(周建波等, 2002; 牛树银等, 1993; 内蒙古自治区地质矿产局, 1991; 王楫等, 1989)。受古亚洲洋板块与华北陆台多期次俯冲对接的影响, 研究区内前寒武纪地层出露广泛, 深大断裂纵横交错, 侵入岩十分发育, 金矿床(点)星罗棋布, 为华北陆台北缘最具有地域性特色和最为重要的金属成矿带之一(聂凤军等, 2007)。

该区系统的区域地质调查和找矿勘查评价工作始于 20 世纪 50 年代初。迄今为止, 中小比例尺(1:20 万和 1:50 万)区域地质调查和物化探测量已全部完成。同时, 关键地区 1:5 万区域地质调查和相应的金属矿产调查工作也获重要进展(中国矿床发现史-内蒙古卷编委会, 1996)。通过上述工作, 人们先后在研究区内发现各类金属矿床(点)千余处, 其中代表性矿床有白云鄂博铁-铌-稀土元素矿床、炭窑口铜-锌矿床、东升庙铜-铅-锌矿床、霍各乞铜-铅-锌矿床、甲生盘铅-锌矿床、哈达门沟金矿床、十八顷壕金矿床、老羊壕金矿床、常山壕金矿床、朱拉扎嘎金矿床和赛音乌苏金矿床以及浩牙日呼都格、干温敖包、乌兰敖包、大脑包和公种渠金矿点。需要提及的是, 在所有上述金属矿床中, 朱拉扎嘎、常山壕和赛音乌苏金矿床分别在渣尔泰群阿古鲁沟组和白云鄂博群比鲁特组浅变质岩地层中产出, 并且以规模较大、品位较低和易采选为特点, 其独特的产出环境和形成机理为国内外地质学界所关注。有鉴于此, 认真总结这一地区浅变质岩为容矿围岩金矿床的地质和地球化学特征, 探讨它们的成矿物质来源, 查明其成矿作用与构造-岩浆活动的关系, 对于提高中国北方浅变质岩为容矿围岩金矿床的理论研究水平和推进隐伏金矿床找矿勘查工作均具有重要的理论和实际意义。

## 1 成矿地质环境

华北陆台北缘西段主要由 2 条东西向大致平行分布的裂

谷带所构成, 其中北部的一条被称为白云鄂博裂谷带, 南部的一条被称为渣尔泰裂谷带(图 1, 白云鄂博群与渣尔泰群的出露范围基本代表了 2 条裂谷所在位置——作者注)。尽管上述 2 条裂谷带在形成时间上大体相同, 并且经过大致相同的后期改造变动, 但是两者在产出环境、岩性组合和矿种类型上均存在有较明显的差别(内蒙古自治区地质矿产局, 1991; 王楫等, 1989)。白云鄂博裂谷带沿海流图-白云鄂博-百灵庙-乌兰花一带分布, 东西长 800 km, 南北宽 20~50 km。该裂谷带为中元古界白云鄂博群火山-沉积岩所充填, 地貌形态为强烈剥蚀的准平原-丘陵地带, 北部和南部边界分别为川井—布鲁台庙和部北—查干布拉格深大断裂。白云鄂博群自下而上可划分为 6 个岩性组和 18 个岩性段, 它们分别是都拉哈拉组( $H_1-H_3$ )、尖山组( $H_4-H_5$ )、哈拉霍格特组( $H_6-H_8$ )、比鲁特组( $H_9-H_{10}$ )、白音宝拉格组( $H_{11}-H_{13}$ )和呼吉尔图组( $H_{14}-H_{18}$ )。各岩性组(段)界线清晰, 互为整合接触关系。尽管白云鄂博群各个岩性组(段)均有各自的特征岩性组合, 但是其主要岩石类型有石英岩、细砂岩、石英砂岩、灰岩、砂质板岩、泥质粉砂岩和碳质板岩, 局部地段见有粗面岩、英安岩和流纹岩, 整套岩层厚度为 9 000 m。相比之下, 渣尔泰裂谷带沿巴彦诺日公-狼山-渣尔泰山-固阳-金山一带分布, 东西长 900 km, 南北宽数公里到数十公里。这条裂谷带为渣尔泰群火山-沉积岩所充填, 地貌形态为海拔高度相差较大的中低山区, 北部和南部边界分别为乌拉特后旗—巴音宝力格—东红胜断裂和吉兰泰—德令山—武川—可可以力更断裂。渣尔泰群自下而上可划分为 4 个岩性组和 9 个岩性段, 它们分别是书记沟组( $C_{1,3}$ )、增隆昌组( $C_{4,5}$ )、阿古鲁沟组( $C_{6,8}$ )和刘洪湾组( $C_9$ )。各个岩性组(段)界线清晰, 互为整合接触关系。尽管渣尔泰群各个岩性组(段)均有各自的特征岩性组合, 但是其主要岩石类型有石英岩、砂岩、粉砂岩、板岩和灰岩, 局部地段见有碱性玄武岩和安山岩, 整套岩层的厚度为 3 080 m(内蒙古自治区地质矿产局, 1991; 王楫等, 1989)。需要指出的是, 尽管浅变质岩为容矿围岩的金矿床(点)分别在白云鄂博群比鲁特组

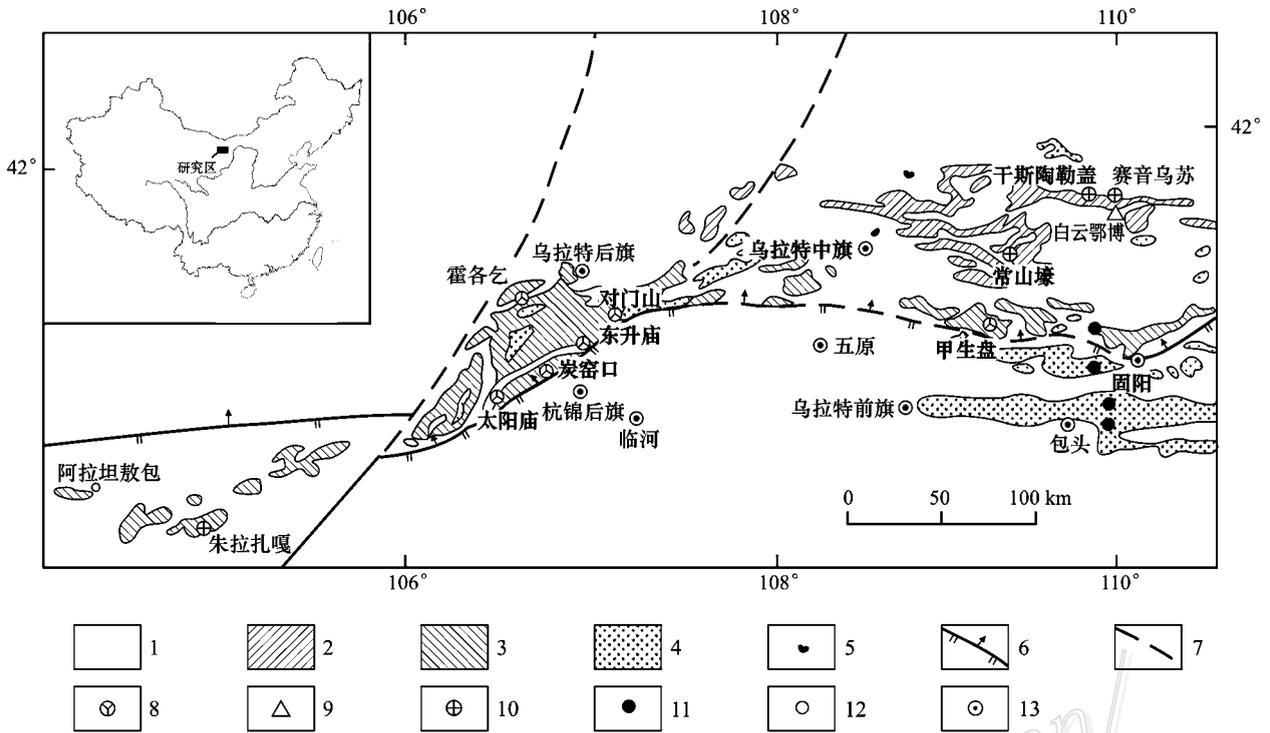


图 1 内蒙古中西部重要金属矿床分布简图(根据胡鸿飞等 2008 和 黄占起等 2002 资料改编)

1—第四系;2—中元古界白云鄂博群浅变质岩;3—中元古界渣尔泰群浅变质岩;4—太古宙乌拉山群深变质岩;5—古生代蛇绿岩;6—实测深大断裂;7—推测深大断裂;8—铜、铅和锌矿床;9—铁-铌-稀土元素矿床;10—浅变质岩为容矿围岩金矿床;11—与侵入岩有关金矿床;12—苏木(乡)政府所在地;13—市或旗(县)级人民政府所在地

Fig. 1 Simplified geological map showing the distribution of important metallic deposits and prospects in central-western Inner Mongolia(modified from Hu et al., 2008 and Huang et al., 2002)

1—Quaternary;2—Low-grade metamorphic rocks of Middle Proterozoic Bayan Obo Group;3—Low-grade metamorphic rocks of Middle Proterozoic Chaiertai Group;4—High-grade metamorphic rocks of Archean Wulashan Group;5—Paleozoic ophiolite;6—Measured deep-rooted fault;7—Inferred deep-rooted fault;8—Copper, lead and zinc deposit;9—Iron-niobium-REE deposit;10—Gold deposit and prospect hosted by lowgrade metamorphic rocks;11—Gold deposit and prospect related to intrusive rocks;12—Township of Sumt;13—City or banner(county)

和渣尔泰群阿古鲁沟组沉积岩地层中产出,但是它们均与高硫、碳含量的砂岩、粉砂岩、碳质板岩和千枚岩具有密切的空间分布关系,局部地段围岩的有机碳含量可达 6%(黄占起等 2002)。部分学者认为,无论是比鲁特组黑色板岩和暗色石英岩,还是阿古鲁沟组碳质板岩和暗色千枚岩,它们均是古裂谷带深水环境浊流沉积作用的产物(胡鸿飞等 2008 Jiang et al., 2005 黄占起等 2002)。

研究区范围内褶皱和断裂构造极为发育,并且与金矿床具有密切的空间分布关系。白云鄂博群和渣尔泰群近东西向紧闭同斜和尖棱状褶皱以产出规模大和结构复杂为特征,其中部分褶皱轴部和翼部与断裂构造交汇处常常是厚大金矿体产出的有利地段。在断裂构造方面,川井—布鲁台庙、郅北—查干布拉格、乌拉特后旗—巴音宝力格—东红胜断裂和吉兰泰—德令山—武川—可可以力更深大断裂横贯研究区,它们不仅是白云鄂博和渣尔泰裂谷带的边界以及构造-地层单元的划分界限,而且也是各类岩浆和含矿流体上升运移的通道,断裂带两侧呈罗棋布的各种侵入岩体和各类金属矿床

(点)即是很好的例证(王荃等,1991;王楫等,1989)。另外,研究区内不同类型和各种规模的侵入岩分布广泛,其中海西期中酸性和碱性侵入岩以产出规模大、岩石类型多和矿化程度高为特征。海西期钾长花岗岩、碱性辉长岩、辉绿岩、正长岩、闪长玢岩、煌斑岩和碳酸岩呈岩基、岩株或岩脉群侵入到白云鄂博群和渣尔泰群火山-沉积岩中,部分侵入岩体与金矿床(体)具有密切的空间分布关系(Jiang et al., 2005; Nie et al., 2002; 江思宏等 2001a, 2001b)。一般情况下,褶皱、断层和岩体相互叠加的部位是寻找隐伏金矿体的有利地段。

## 2 矿床类型及空间分布特征

如前所述,内蒙古中西部以浅变质岩为容矿围岩的金矿床(点)分布广泛,其中朱拉扎嘎、常山壕和赛音乌苏金矿床以产出规模大、矿石品位高和易采选冶为特点。从空间分布上看,朱拉扎嘎金矿床在研究区西部渣尔泰裂谷带的西端产出

(图 1),而常山壕和赛音乌苏金矿床位于研究区东部的白云鄂博裂谷带的中段,其中朱拉扎嘎与常山壕矿床相距 500 km。朱拉扎嘎金矿床是原内蒙古第一物化探勘查院 1997 年在内蒙古阿拉善左旗境内找到的一处大型金矿床,金矿化主要在渣尔泰群阿古鲁沟组上部岩性段内产出,并且与海西期花岗斑岩、辉绿岩和闪长玢岩脉具有密切的空间分布关系(Jiang et al., 2005; 江思宏等, 2001a, 2001b)。系统的钻(坑、槽)探结果表明,该矿床的黄金储量大于 50 t,平均品位为  $2.45 \times 10^{-6}$ 。常山壕金矿床位于内蒙古乌拉特中旗境内,该矿床是宁夏核工业地质勘查院及其国外合作伙伴——加拿大金山矿业公司在白云鄂博铁-钼-稀土元素矿床西部找到的一处特大型金矿床<sup>①</sup>。金矿化主要在白云鄂博群比鲁特组下部岩性段内产出,并且与海西期煌斑岩、闪长玢岩和辉绿岩脉群具有密切的空间分布关系。系统的钻(坑、槽)探结果表明,该矿床的黄金储量大于 120 t,平均品位为  $0.84 \times 10^{-6}$ 。赛音乌苏金矿床位于白云鄂博矿床北侧 3 km 处,是原建设工程兵 00525 部队在 1983 年找到的一处中型金矿床(胡鸿飞等, 2008; 张学权等, 2007; 张春雷, 1999)。金矿化主要在白云鄂博群比鲁特组下部岩性段内产出,并且与海西期花岗闪长岩、闪长岩和辉绿岩脉具有密切的空间分布关系。系统的钻(坑、槽)探结果表明,该矿床的黄金储量大于 15 t,平均品位为  $5.5 \times 10^{-6}$ 。

前人研究结果表明,尽管朱拉扎嘎、常山壕和赛音乌苏矿床在地质特征、形成时代、热液蚀变和形成过程上存在有一定的差别,但是它们在产出环境、矿物种类和元素组合上大体相

似,完全可与乌兹别克斯坦穆龙套巨型金矿床相对比,属与侵入岩有关的中温热液金矿床(表 1)。

### 3 代表性矿床地质特征

#### 3.1 朱拉扎嘎金矿床

朱拉扎嘎金矿床位于内蒙古中西部阿拉善台隆北缘,雅布赖山—巴彦诺日公断裂的东侧,属渣尔泰裂谷带的西端(图 1 和图 2)。区内出露的地层主要有中元古界渣尔泰群阿古鲁沟组变质砂岩、粉砂岩、板岩、千枚岩和灰岩,局部地段见有变质沉凝灰岩和流纹岩(江思宏等, 2001a, 2001b)。矿区及外围各类侵入岩脉分布广泛,主要岩石类型有闪长玢岩、花岗斑岩、细晶岩、煌斑岩和辉绿岩,其中花岗斑岩的黑云母钾-氩同位素年龄值为  $(291 \pm 4) \text{ Ma}$ ,属海西期构造-岩浆活动的产物(Jiang et al., 2005)。在矿区构造方面,北东-北东向断裂是朱拉扎嘎矿区的主要构造形迹。受上述构造多期次活动影响,区内近东西向、北东向、北西向和近南北向逆冲、压扭和张裂性质断层也十分发育,其中近东西向逆冲断裂作用产生有一系列层间破碎带,为成矿流体上涌和沉淀创造了有利的空间条件。需要提及的是,纵贯全区的一条北西走向,并且呈右旋转动的压扭性断层将整个金矿化区切割为东、西 2 部分,其水平错距大于 50 m,为最重要的控矿构造(图 2)。

金矿化大都在中元古界渣尔泰群阿古鲁沟组浅变质岩中呈层状、似层状、条带状和透镜体状产出(图 3)。迄今为止,在矿化区范围内先后发现和圈定出 2 条金矿化带和 56 个金

表 1 常山壕型、卡林型和穆龙套型金矿床基本地质特征

Table 1 Basic geological features of Changshanhao, Carlin and Muruntau types gold deposits

地质特征	常山壕式	卡林型	穆龙套型
地质环境	中元古代古大陆内部或边缘裂陷盆地	古生代古陆边缘裂谷或凹陷区	古大陆内部北西向裂陷盆地(缝合带)
赋矿层位	中元古代富硫和碳变质砂岩-细砂岩-粉砂岩-千枚岩和片岩	奥陶系-志留系-泥盆系杂质碳酸盐岩-细碎屑岩和角砾岩	寒武系-奥陶系变质砂岩、变质粉砂岩、细砂岩和灰岩以及片岩
侵入岩体	海西期煌斑岩、闪长玢岩、辉绿岩和花岗岩脉群	矿区深部见有第三纪二长岩和煌斑岩脉	海西期黑云母花岗岩、正长岩和煌斑岩体(脉)
矿体产状	沿韧性剪切带层间破碎带内呈层状、似层状、条带状和透镜体状分布	沿断裂带或层间破碎带呈层状、似层状和透镜体状产出	沿断裂带或层间破碎带呈层状,似层状、圆锥状和透镜状矿体
矿石构造	浸染状、细脉状、蜂窝状和条带状和块状	浸染状、蜂窝状、条带状和团块状	细脉状、脉状、网脉状、团块状和浸染状
矿物组合	黄铁矿、磁黄铁矿、黄铜矿、毒砂、方铅矿、自然金、辰砂、银金矿;石英、绢云母、绿泥石、高岭石和方解石	自然金、黄铁矿、雄黄、雌黄、辰砂、辉钨矿、毒砂、有机碳、碳酸盐类和石英	黄铁矿、毒砂、磁黄铁矿、辉钨矿、白钨矿、自然铋、石英、正长石、绿泥石、方解石、绢云母和电气石
围岩蚀变	硅化、绢云母化、透闪石化、阳起石化和碳酸盐化	硅化、泥岩化、黄铁矿化,碳酸盐化和白云石化	硅化、钾化、绢云母化、碳酸盐化和电气石化
化探异常	Au-Ag-Pb-Zn-As-Sb-Bi-Mo	Au-As-Hg-Sb-Ti-W-Mo	As-Au-W-Bi-Te-Se-Ag
选冶特征	砷、硫、锑和贱金属元素含量均比较低,易选冶	砷和锑含量较高,较难选冶	砷、铋和硼含量高,对选冶有一定影响
流体来源	混合流体(岩浆与变质热液)	以大气降水为主的混合流体	富碳和 $\text{CH}_4$ 以及贫 $\text{NaCl}$ 的混合流体
资料来源	本文	Cline et al., 2005	Drew et al., 1996

① 宁夏核工业地质勘查院. 2005. 内蒙古自治区乌拉特中旗浩尧尔忽洞矿区东矿带金矿详查. 内蒙古自治区国土资源厅内部地质勘探报告. 8-35.

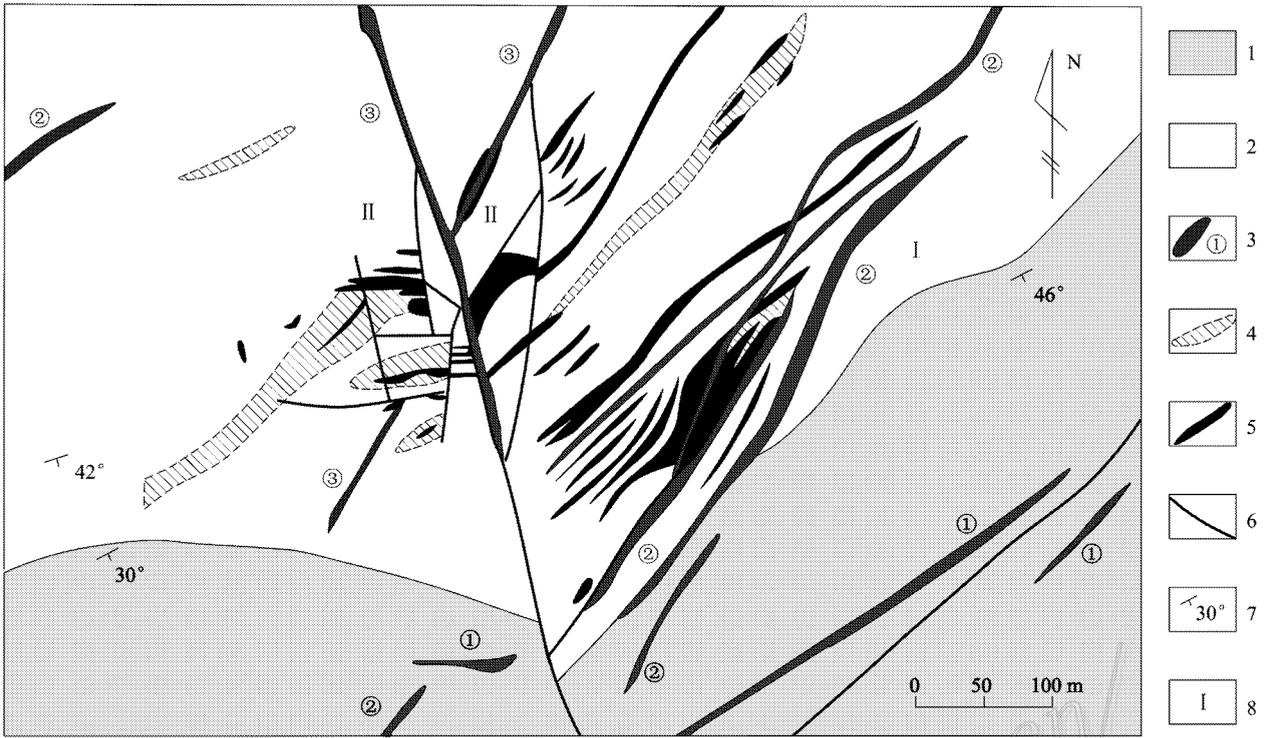


图2 朱拉扎嘎金矿床地质简图(根据 Jiang et al. ,2005 资料改编)

1—中元古界阿古鲁沟组第二岩性段变质砂岩、粉砂岩和灰岩；2—中元古界阿古鲁沟组第一岩性段钙质砂岩和粉砂岩；3—各类侵入岩脉(① 花岗细晶岩；② 闪长玢岩；③ 斜闪正煌斑岩)；4—含金蚀变带；5—金矿体；6—断层；7—地层产状；8—矿带编号

Fig. 2 Sketch geological map of the Zhulazaga gold deposit (modified from Jiang et al. ,2005)

Middle Proterozoic Agulugou Formation : 1—Meta-sandstone , siltstone and limestone of No.2 lithologic section ; 2—Calcareous sandstone and siltstone ; 3—Various intrusive dykes ( ① Granitoid aplite ; ② Diorite porphyrite ; ③ Camptovogesite ) ; 4—Gold-bearing alteration zone ; 5—Ore body ; 6—Fault ; 7—Attitude of strata ; 8—Ore zone and its serial number

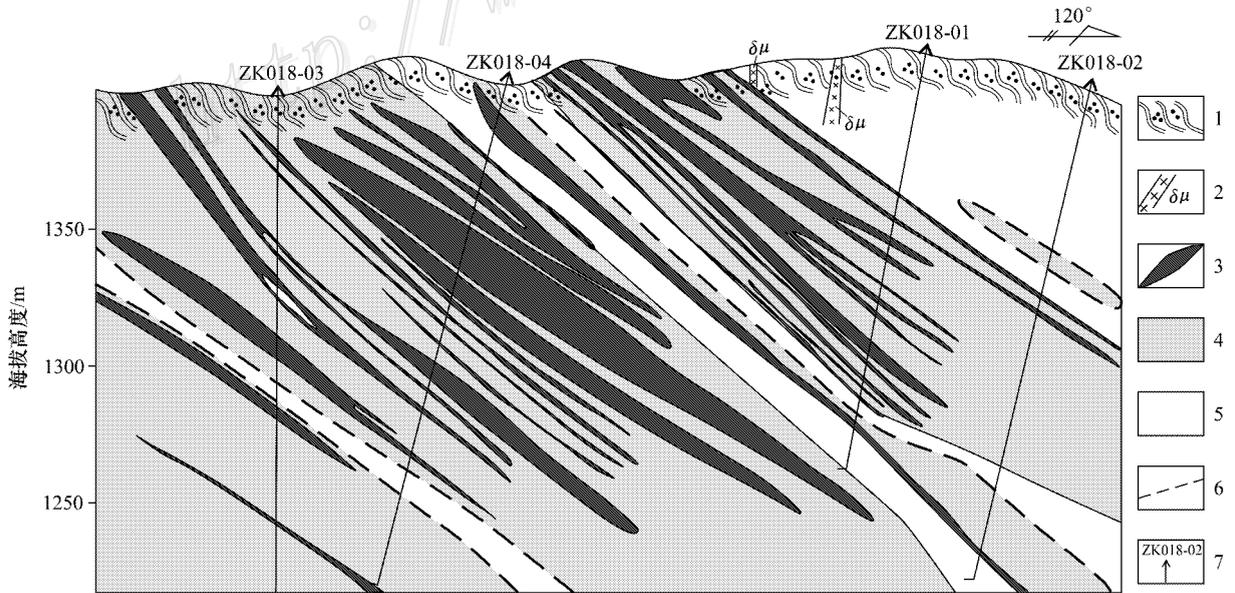


图3 朱拉扎嘎金矿床 P018 地质勘探线剖面图(根据 Jiang et al. ,2005 资料改编)

1—变质砂岩和粉砂岩；2—闪长玢岩脉；3—金矿体；4—含金蚀变带；5—未蚀变岩石；6—推测地质界线；7—钻孔及编号

Fig.3 No. P018 geological exploration section of the Zhulazaga gold deposit (modified from Jiang et al. ,2005)

1—Meta-sandstone and siltstone ; 2—Diorite porphyrite dyke ; 3—Ore body ; 4—Gold-bearing alteration zone ; 5—Unaltered rock ; 6—Inferred geological boundary ; 7—Drill hole and its serial number

矿体,其中I号矿化带位于矿区东南部,呈北东向展布,长度为400 m,宽度为几米到几十米,最宽处为80 m,由13个金矿体所构成。与I号矿化带相比,II号矿化带位于矿区西北部,呈北东向展布,长度为570 m,宽度为几十米到百余米,最宽处为180 m,由43个金矿体所构成(图2和图3)。如前所述,单个矿体大都沿层间破碎带产出,长度变化范围为10~300 m,宽度为数厘米至数十米,倾斜延深为数十米到170 m,其中部分金矿体的长度可达500 m,宽度为60 m,厚度为4.5 m,倾斜延深为220 m。受层间破碎带几何形态影响,单个金矿体沿走向的分支复合、膨大收缩和尖灭再现特征十分明显(图3)。另外,钻探结果表明,矿体在深部存在变厚加大现象。近矿体围岩蚀变以强度较高、类型较多和分带不明显为特点,主要热液蚀变类型有硅化、透辉石化、阳起石化、透闪石化、绿泥石化、绿帘石化和碳酸盐化。金矿石的金属矿物以黄铁矿、磁黄铁矿和毒砂为主,局部地段见有少量黄铜矿、方铅矿和闪锌矿。脉石矿物有石英、长石、绿泥石、绿帘石、透闪石、阳起石和方解石以及少量白云母、黑云母和白云石。金矿石金含量变化范围为 $(2\sim 10)\times 10^{-6}$ ,平均值为 $3\times 10^{-6}$ ,最高值可达 $156\times 10^{-6}$ 。

大量研究结果表明,尽管朱拉扎嘎金矿床中各种硫化物(黄铁矿、磁黄铁矿、毒砂和方铅矿) $\delta^{34}\text{S}$ 值变化范围不完全相同,但是其总体分布特征与典型岩浆热液金矿床相似(Jiang et al., 2005)。另外,流体包裹体和氢-氧同位素分析数据同样表明,成矿流体是一种以岩浆水为主的混合溶液。无论是金矿石,还是硫化物,其铅同位素组成与矿区范围内中酸性火山岩和侵入岩脉较为接近,而与浅变质岩有着明显的差别。所有硫、铅和氢-氧同位素数据以及和流体包裹体证据表明,朱拉扎嘎金矿床的成矿作用主要与海西期构造-岩浆活动具有密切的成因联系,成矿物质和成矿流体主要来自岩浆(聂凤军等, 2000; 2007; Jiang et al., 2005; 江思宏等, 2001a; 2001b)。

### 3.2 常山壕金矿床

常山壕金矿床位于华北陆台北缘西段白云鄂博裂谷带的西端,地处高勒图和合教—石崩断裂带所夹持地带<sup>①</sup>。区内出露的地层主要有白云鄂博群尖山组、哈拉霍疙特组和比鲁特组沉积岩以及第四系残积、坡积和冲积物,其中比鲁特组沉积岩是金矿床的直接容矿围岩<sup>①</sup>。比鲁特组地层分布在矿区中部,自下而上可划分为4个岩性段:①碳质粉砂岩和粉砂质板岩;②碳质千枚岩、千枚岩和片岩,局部地段见变质粉砂岩和凝灰质砂岩;③变质粉砂岩和变质砂岩,局部见变质同生角砾岩;④黑色千枚岩和千枚状片岩。在所有上述4个岩性段内,①和②岩性段以产出矿体数量多和规模大为特点(图4)。矿区范围内各类岩脉分布广泛,并且具有呈群或带分布的趋势。主要岩石类型有辉绿岩、煌斑岩、闪长玢岩、细晶岩

和伟晶岩,其中闪长岩和煌斑岩脉与金矿体具有密切的空间分布关系(图5)。另外,在矿区的北部和南部,产出规模不等,几何形态各异和形成时代不同的花岗岩类侵入岩基(株)十分发育,主要岩石类型有花岗闪长岩、斜长花岗岩和黑云母花岗岩<sup>①</sup>。在矿区构造方面,浩尧尔忽洞向斜横贯全区,其核部为比鲁特组沉积岩,内、外翼分别为哈拉霍疙特组和尖山组火山-沉积岩,局部地段,次级紧密褶曲和香肠状构造十分明显。断裂构造主要是一条左向滑动的韧性剪切带和一条近北西向展布的平移断层,其中前者明显被后者所切割破坏。上述的左旋韧性剪切带由一系列近似于平行的单个挤压破碎带和片理化带所构成,长度为4500 m,宽度50~200 m。整个剪切带呈近东西向到北东向分布,向北西或南东方向倾斜,倾角为70~89°,为本区最重要的导矿和容矿构造<sup>①</sup>。

长山壕金矿床各主要矿体大都在白云鄂博群比鲁特组碳质粉砂岩、碳质板岩、黑色千枚岩、千枚状板岩和红柱石-十字石-石榴子石片岩中呈板状,似板状和透镜体状产出。矿体的几何形态和产出规模完全受层间破碎带和片理化带控制。整个金矿化区由东、西2个矿化带所构成,呈北东向展布,长度为4500 m,宽度为20~200 m(图4)。迄今为止,在矿化区范围内先后发现和圈定金矿体44个,其中28个分布在东矿带,16个出现在西矿带。在所有44个矿体中,东矿带的E2号矿体以产出规模大和品位高为特征,其储量占全部储量的55%。钻坑探结果表明,东矿带各主要矿体呈北东向或北东东向分布,在平面上呈平行或雁行状排列,间隔距离为10~20 m。西矿带各主要矿体呈近东西向或北西向分布,在平面上呈雁行状排列,间隔距离为10~20 m。一般来讲,单个矿体的长度变化范围为100~1413 m,平均值为303 m,最短者和最长者分别为50 m和1644 m,厚度为5~28 m,平均值为12 m,最薄处和最厚处分别为3 m和48 m,倾斜延深为73~235 m,平均值为148 m,最小和最大深度值分别为67 m和241 m。尽管各矿体无论在长度、厚度和倾斜延深上,还是在几何形态上均存在有一定差别,但是其产出形态与地层产状大体一致。需要提及的是,尽管常山壕金矿床各主要矿体的热液蚀变强度不如典型热液型金矿床那样明显,但是热液蚀变的存在是一毋庸置疑的地质事实,例如,在部分矿体的旁侧常常可以观察到硅化、黑云母和碳酸盐化。矿体主要由氧化型和原生型矿石所构成,前者主要出现在部分矿体的顶部,厚度为20~70 m(图5),其产出规模和矿石品位完全可以达到大规模堆浸的要求。氧化型矿石主要由铜蓝、孔雀石、针铁矿、褐铁矿、自然金、石英、绢云母和高岭石组成,金含量为 $(0.5\sim 1)\times 10^{-6}$ ,平均含量 $0.68\times 10^{-6}$ 。相比之下,原生型金矿石的金属矿物有黄铁矿、磁黄铁矿、黄铜矿、毒砂、方铅矿、自然金和辰砂,脉石矿物有石英、绢云母、绿泥石、高岭石和方解石,金含量为 $(0.67\sim 1.54)\times 10^{-6}$ ,平均值为 $0.85\times 10^{-6}$ 。

① 宁夏核工业地质勘查院, 2005. 内蒙古自治区乌拉特中旗浩尧尔忽洞矿区东矿带金矿详查. 内蒙古自治区国土资源厅内部地质勘探报告. 8-35.

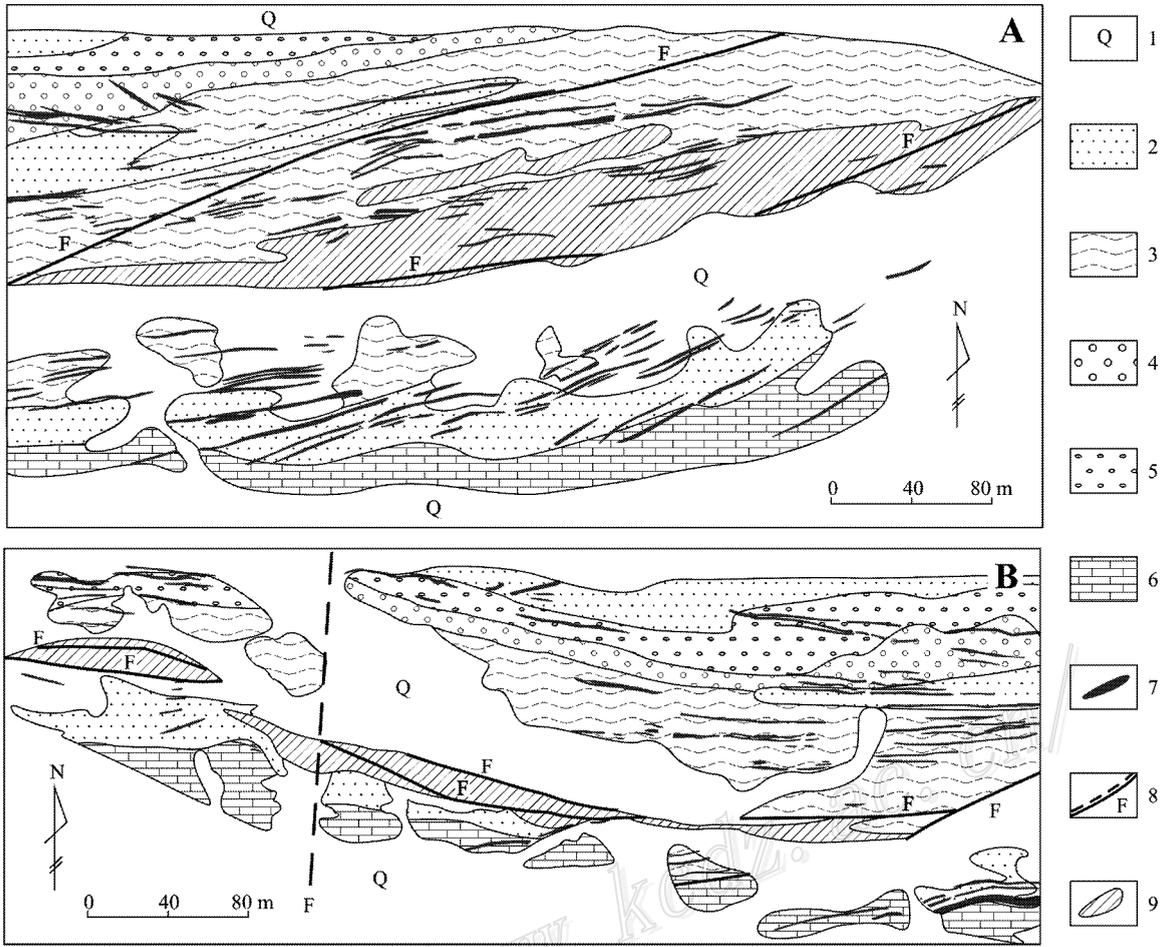


图4 常山壕金矿床地质简图(据宁夏核工业地质勘查院,2005资料<sup>①</sup>改编)

A. 东矿区;B. 西矿区。1—第四系;2~6—中元古界阿古鲁沟组(2—变质粉砂岩;3—千枚岩;4—杂砂岩;5—砾岩;6—灰岩);7—镁铁质及长英质侵入岩脉;8—实测或推测断层;9—金矿体(矿化带)

Fig. 4 Sketch geological map of the Changshanhao gold deposit (modified from Geological Party of Ningxia Nuclear Industry, 2005<sup>①</sup>)

A. Eastern ore district; B. Western ore district. 1—Quaternary; 2~6—Low-grade metamorphic rocks of Middle Proterozoic Agulugou Formation (2—Meta-siltstone; 3—Phyllite; 4—Graywacke; 5—Conglomerate; 6—Limestone); 7—Mafic and Felsic intrusive dyke; 8—Measured and inferred fault; 9—Ore body (or mineralized zone)

### 3.3 赛音乌苏金矿床

该矿床位于常山壕金矿床北东方向55 km处,其南侧3 km处即是著称于世的白云鄂博铁-钕-稀土元素矿床(图1)。从大地构造位置上看,赛音乌苏矿床地处白云鄂博裂谷带西段,属华北陆台与古蒙古洋壳接壤地带(胡鸿飞等,2008;张学权等,2007;Nie et al., 2002)。区内出露的地层主要为白云鄂博群尖山组、哈拉霍疙特组、比鲁特组和呼吉尔图组火山-沉积岩,其中比鲁特组碳质板岩、粉砂质板岩、灰岩和石英砂岩为金矿体的直接容矿围岩(图6)。矿区及外围各类侵入岩分布广泛,主要岩石类型有花岗岩、花岗闪长岩、闪长岩、伟晶

岩和辉绿岩,其中辉绿岩脉与金矿体具有密切空间分布关系。辉绿岩脉镁铁质矿物 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 同位素等时线年龄为 $(249 \pm 5)\text{Ma}$ ,属海西期构造-岩浆活动产物(Nie et al., 2002)。在矿区构造方面,哈拉忽鸡东西向复式背(向)斜横贯全区,其核部为尖山组碳质板岩、黑色砂岩和硅质板岩,两翼为哈拉霍疙特组、比鲁特组和呼吉尔图组变质砂岩、砂质灰岩和碳质板岩。上述复式背(向)斜被一系列北西向、北东向和近南北向断层所切割破坏,其中背(向)斜的轴(核)部或两翼与断层交汇处是厚大金矿体产出的有利部位。

迄今为止,在赛音乌苏金矿化区先后发现和圈定出2条

① 宁夏核工业地质勘查院. 2005. 内蒙古自治区乌拉特中旗浩尧尔忽洞矿区东矿带金矿详查. 内蒙古自治区国土资源厅内部地质勘探报告. 8-35.

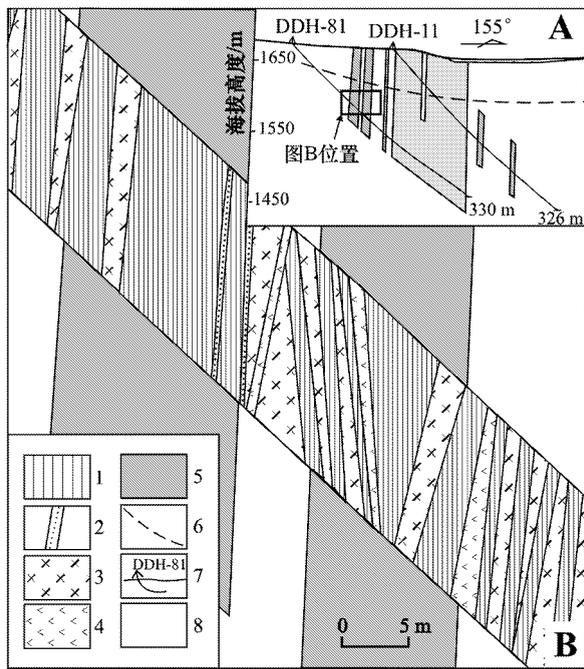


图 5 常山壕金矿床矿区 1000E 号地质勘探线剖面图(据宁夏核工业地质勘查院 2005 资料<sup>①</sup>改编)

1—中元古界阿古鲁沟组千枚岩；2—中元古界阿古鲁沟组变质砂岩；3—煌斑岩；4—闪长玢岩；5—金矿体；6—氧化型与硫化型矿体界限；7—钻孔及编号；8—未知岩体(层)

Fig. 5 No. 1000E geological exploration section of the eastern ore district in Changshanbao

1—Middle Proterozoic phyllite；2—Middle Proterozoic meta-sandstone；3—Lamprophyre；4—Diorite porphyrite；5—Ore body；6—Boundary between oxidized and sulfide ore zones；7—Drill hole and its serial number；8—Unclassified stratigraphic unit

金矿化带和 14 个金矿体,其中南矿带和北矿带分别由 9 条和 5 条金矿体所构成(图 6、图 7)。北矿带(又称 32 号脉群)位于哈拉忽鸡背斜的西倾没端,主要由 49、26、27、28 和 32 号脉所构成。各主要矿体(脉)均呈脉状和透镜体状在比鲁特组碳质板岩和黑色砂岩中产出,其空间分布形态和产出规模完全受张扭性断层破碎带所控制。单个矿体长度变化范围为 80~500 m,平均值 350 m,宽度为 0.5~8 m,平均值 2.5 m,倾斜延深为 200~450 m,平均值为 288 m。南矿带(又称 203 号脉群)位于哈拉忽鸡向斜的中部,北距北矿带 1 000 m。在南矿带所有 9 条矿体中,2 号和 5 号矿体以产出规模大和矿石品位高为特征,它们均呈脉状、似层状和透镜状在比鲁组碳质板岩和黑色砂岩中产出,其产出规模和几何形态同样受断层破碎带控制。单个矿体长度为 3~250 m,平均值为 150 m,宽度为 0.5~50 m,平均值为 35 m,倾斜延深为 20~120 m,平均值 85 m。需要提及的是,在南矿带各矿体的顶部均发育有厚度不等的次生氧化富集带,其金和银含量明显高于原生型矿石。与前述常山壕金矿床一样,尽管该矿床热液蚀变的强

度和规模均不及典型的热液金矿床明显,但是热液蚀变的存在是一毋庸置疑的地质事实。近矿体热液蚀变有硅化、绢云母化、绿泥石化和碳酸盐化,其中硅化与金矿化具有密切的空间分布关系。金矿石大体可以划分为 2 种类型,即氧化型和原生型。氧化型矿石主要由铜蓝、孔雀石、针铁矿、褐铁矿、自然金、石英、绢云母和高岭石所组成,金含量为  $(4 \sim 18) \times 10^{-6}$ ,平均值为  $8 \times 10^{-6}$ 。相比之下,原生型矿石主要由黄铁矿、磁黄铁矿、方铅矿、毒砂、自然金、银金矿、闪锌矿、黄铜矿、石英、斜长石、绿泥石、绢云母和方解石所组成,金含量变化范围为  $(2 \sim 15) \times 10^{-6}$ ,平均值  $6 \times 10^{-6}$ ,最高值为  $1 732 \times 10^{-6}$ 。

部分学者曾对赛音乌苏矿床金矿石进行过同位素年代测定,所获绢云母的  $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$  同位素等时线年龄为  $(249 \pm 5)$  Ma,与矿区范围内辉绿岩脉  $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$  同位素年龄值完全吻合(Nie et al., 2002)。考虑到辉绿岩脉与金矿体具有密切的空间分布关系以及绢云母与含金黄铁矿和自然金具有共生结构关系,这些学者认为,赛音乌苏金矿床是海西晚期构造-岩浆活动的产物,成矿作用早期阶段,成矿流体以岩浆水为主,晚期阶段变质流体占主导地位。

#### 4 区域地壳演化与金成矿作用

乌兹别克斯坦克齐珠尔库姆(Kyzylkum)沙漠南缘的穆龙套金矿床是世界范围内产出规模最大的金矿床,其黄金储量大于 5 100 t,平均品位为  $3 \times 10^{-6}$ (Morelli et al., 2007; Drew et al., 1996)。金矿化主要在寒武系-奥陶系变质砂岩和变质粉砂岩内呈透镜状和似层状产出,并且与花岗岩、正长岩和煌斑岩体(脉)具有密切的空间分布关系。早在 20 世纪中-晚期,原苏联地质学家采用钾-氩和铷-锶同位素技术对穆龙套矿区范围内的花岗岩、正长岩和煌斑岩进行过年代测定,所获数值变化范围分别为 287~255 Ma、277~239 Ma 和 277~274 Ma(Kempe et al., 2001)。进入 21 世纪以来,一些西方学者又利用高精度铷-锶和钐-钐同位素方法对金矿石中的毒砂和白钨矿进行了年龄测定,所获数值分别为  $(287.5 \pm 1.7)$  Ma 和  $(279 \pm 18)$  Ma(Morelli et al., 2007; Kempe et al., 2001)。根据上述同位素年龄数据,同时结合其他地质和地球化学证据,部分学者认为,穆龙套金矿床的成矿作用与海西期花岗岩类岩浆活动有关,部分成矿物质可能来自地幔(Morelli et al., 2007; Drew et al., 1996)。与上述认识相反,也有研究人员指出,尽管金矿床与各类侵入岩体(脉)存在有密切的空间分布关系,煌斑岩脉对含矿地层和早期矿体的叠加改造可能会导致矿体规模扩大和品位增高,但是金矿床与海西期花岗岩不存在任何成因联系(Kempe et al., 2001)。

与乌兹别克斯坦的穆龙套金矿床相比,内蒙古中西部的朱拉扎嘎、常山壕和赛音乌苏金矿床均在中元古宙浅变质岩地层中产出,并且与古生代镁铁质、长英质和碱质类侵入岩体(脉)具有密切的空间分布关系。从表 1 不难看到,除了容矿围岩的形成时代存在一定差异外,朱拉扎嘎、常山壕和赛音

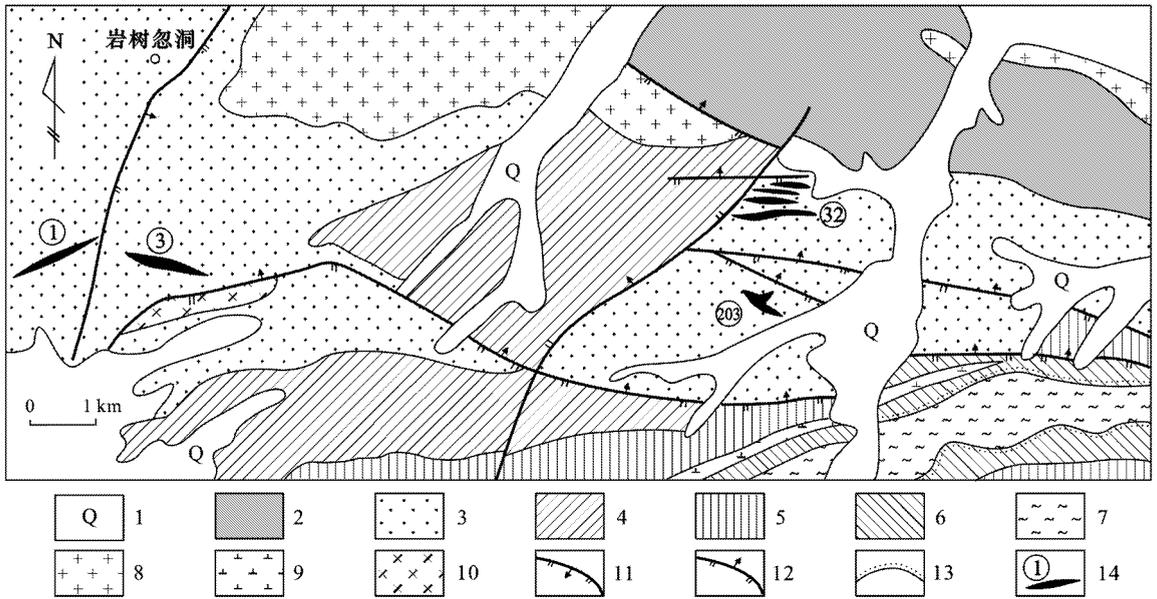


图6 赛音乌苏金矿床地质简图(据张学权等2007资料改编)

1—第四系;2—石炭系宝力格庙组沉积岩;3~6—中元古界白云鄂博群火山-沉积岩(3—比鲁特组;4—哈拉霍格特组;5—尖山组;6—都拉哈拉组);7—太古界乌拉山群变质岩;8—海西期花岗岩;9—海西期闪长岩;10—金伯利岩脉;11—正断层;12—逆断层;13—不整合面;14—金矿区(带、脉)及编号

Fig. 6 Sketch geological map of the Saiyinwusu gold deposit (modified from Zhang et al., 2007)

1—Quaternary; 2—Sedimentary rocks of Carboniferous Baoligemiao Formation; 3~6—Low-grade metamorphic rocks of Middle Proterozoic Bayan Obo Group (3—Bilute Formation; 4—Halahuogete Formation; 5—Jianshan Formation; 6—Dulahlala Formation); 7—Metamorphic rocks of Archean Wulashan Group; 8—Hercynian granitoid intrusive dyke; 9—Hercynian diorite dyke; 10—Kimberlite dyke; 11—Normal fault; 12—Thrust fault; 13—Unconformity; 14—Gold ore district (zone, dyke) and its serial number

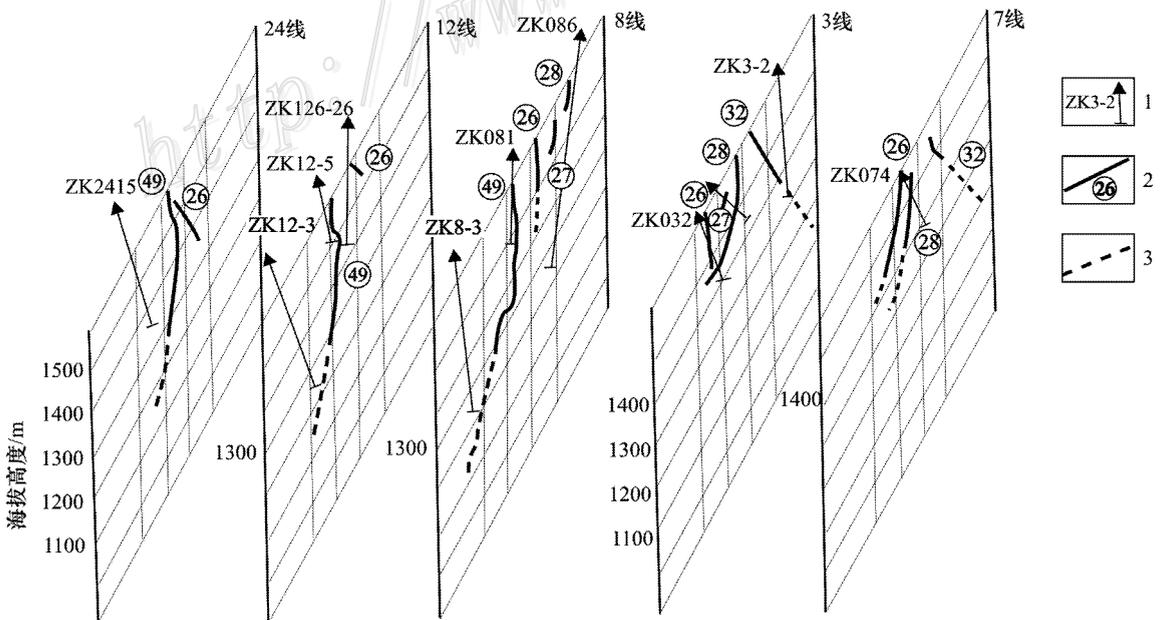


图7 赛音乌苏金矿床代表性地质勘探剖面简图(据张学权等2007资料改编)

1—钻孔及编号;2—实测矿体及编号;3—推测矿体

Fig. 7 Simplified geological exploration section of the Saiyinwusu gold deposit (modified from Zhang et al., 2007)

1—Location of drill hole; 2—Measured ore body and its serial number; 3—Inferred ore body

乌苏金矿床完全可以与穆龙套金矿床相对比。与乌兹别克斯坦克齐珠尔库姆沙漠南缘地区的金矿床一样,内蒙古中西部浅变质岩为容矿围岩的金矿床(点)的时空分布特点同样表明,该区金属成矿作用与古大陆裂解和聚合过程中所诱发的构造-岩浆事件密切相关。金矿床的几何形态、形成时间和地质特征实际上就是古陆块某种运动机制的具体反映(Groves et al., 1998, 2007)。尽管在研究区范围内很难观察到从中元古代早期经古生代到中生代晚期连续出露的构造-地层单元以及与之相对应的金属矿床(点),但是 2 次大规模金成矿作用“爆发期”还是比较明显的,即中元古代初始型成矿期和海西期改造型成矿期。

中元古代时期,西伯利亚板块、华北陆块和塔里木块体同属一个古大陆,它们具有相似的结晶基底、沉积盖层、古生物群落和古地磁学特征(聂凤军等, 2007; Ren et al., 1999; 王荃等, 1991)。中元古代中-晚期,华北早前寒武纪陆块北部西段发生张裂构造作用,并且形成 2 条近似平行分布的东西向裂陷槽(带),即南侧的渣尔泰山陆内裂陷带和北侧的白云鄂博陆裂陷带。受到这一时期海水沉积作用、区域构造和岩浆活动影响,上述 2 条裂陷带均为巨厚的细砂岩、粉砂岩、碳质板岩、黑色页岩和碳酸盐以及少量碱性玄武岩和粗面安山岩所充填,局部地段见有浊积岩和滑塌堆积岩。裂陷槽的发育特点可概述为:①中元古代中-晚期,拉张性断陷作用极为明显;②从东到西,由北到南,盆地由浅变深,沉积范围持续扩大;③局部地段金、硫和碳含量明显增高(内蒙古自治区地质矿产局, 1991; 王楫等, 1989)。需要提及的是,尽管渣尔泰群和白云鄂博群火山-沉积岩的形成时代以中元古代为主,但是部分地层单元的形成作用可以一直延续到新元古代(周建波等, 2002)。新元古代时期,受全球范围内张裂构造作用影响,巨大的古陆块发生裂解,并且产生有下列效应:①华北、塔里木和西伯利亚古陆块体出现,三者之间为广阔的大洋盆地所分隔;②在各陆块的边缘产生一系列规模大小不等和产出形态各异的裂陷槽;③部分陆内裂陷槽的张裂活动进一步增强,并且逐渐演变为古大陆边缘裂陷盆地(聂凤军等, 2007; Ren et al., 1999; 王荃等, 1991; 王楫等, 1989)。

前人研究结果表明,尽管渣尔泰群和白云鄂博群在分布范围、岩性组合、形成时代和结构构造上存在有许多相似之处,但是它们分别代表着古大陆内部和边缘裂陷槽环境(周建波等, 2002; 内蒙古自治区地质矿产局, 1991; 王楫等, 1989)。无论是渣尔泰陆内裂陷带,还是白云鄂博古陆边缘裂陷槽,它们与金矿床(点)的成生联系主要表现在以下 2 个方面,其一,在裂陷盆地还原环境中,大量有机质对金及其他成矿组分均具有较强的吸附和络合作用,完全有可能导致成矿物质的相对聚集和沉淀;其二,在裂陷槽局部地段,海相火山喷发作用可将部分成矿物质从地壳深部带至海底,进而形成金含量较高的火山-沉积岩。需要提及的是,除了上述 2 方面因素外,沉积物中胶体凝聚效应、絮凝作用和微生物活动以及成矿环境 pH 和  $E_h$  值变化均可导致成矿组分的富集,并且形成“矿

胚”或“矿源层”(聂凤军等, 2005a)。内蒙古中西段渣尔泰和白云鄂博裂陷带内含金火山-沉积岩地层分布广泛,并且构成诸多金矿床的容矿围岩,其形成过程与前述各种地质作用密切相关。

新元古代晚期到石炭纪晚期,在渣尔泰和白云鄂博裂陷盆地北部和西北部数十千米处,华北陆台、古蒙古洋壳和西伯利亚板块发生多期次俯冲、碰撞和对接作用,其中以中-晚石炭世构造-岩浆活动最为强烈,其波及范围可达 250~300 km(聂凤军等, 2005b)。受古蒙古洋壳对华北陆台多期次俯冲作用的影响,各种规模的推覆构造作用导致渣尔泰群和白云鄂博群火山-沉积岩地层发生褶皱和动力变质,并且诱发中酸性和碱性岩浆活动,广泛存在的叠瓦状冲断层、韧性剪切带、混合岩和侵入岩体(脉)群即是很好的例证。受各类构造“碾压”作用和热液活动的影响,岩层(体)中  $CO_2$ 、 $CH_4$ 、 $N_2$ 、S、As、Au 和 Sb 等矿化组分以及裂隙水和晶间水向低压扩容部位迁移。受地震原吸效应、地温梯度和暖冷流体密度差等诸多因素影响,当下渗流体到达一定深度后即会沿特定通道向上迁移,并且在构造破碎带和背斜枢纽带内形成脉状、似层状或条带状金矿体(聂凤军等, 2005a)。

与乌兹别克斯坦穆龙套金矿区相比,内蒙古中西部金矿床(点)同样与海西期富碱中基性或中酸性岩侵入岩脉群具有密切的时空分布关系。尽管人们均不否认上述地质事实,但是金及其他成矿组分是否来自地壳深部(地幔源?)仍存在较大争议。部分学者认为,富金的中基性或中酸性侵入岩是深源岩浆上侵定位的产物,与其相关的热液流体在金矿床形成过程中发挥了重要作用(胡鸿飞等, 2008; 张学权等, 2007; 胡鸿飞, 2006; 张春雷, 1999)。另外一部分学者则指出,深源(幔源?)中基性或中酸性岩浆与地壳浅部岩(体)层的相互作用(混染作用或水-岩反应)可以导致岩体中金含量明显提高,混源流体对浅变质岩地层的萃取和淋滤作用是导致成矿组分迁移和聚集的重要机制(Jiang et al., 2005; 江思宏等, 2001a; 2001b)。无论是哪一种观点,人们均承认,海西期富碱中基性或中酸性岩浆活动在内蒙古中西部浅变质岩为容矿围岩的金矿床形成过程中曾发挥了某种媒介作用。壳幔物质相互作用可能是导致成矿物质活化、迁移、沉淀和富集的主导因素。需要提及的是,朱拉扎嘎、常山壕和赛音乌苏金矿床形成之后,部分矿体长期裸露地表,遭受到风化剥蚀,最终在原生矿体的顶部形成氧化型金矿化带。朱拉扎嘎、常山壕和赛音乌苏金矿床的形成过程可用图 8 表示。

## 5 结 论

(1) 尽管朱拉扎嘎、常山壕和赛音乌苏金矿床大都在中元古界渣尔泰群和白云鄂博群板岩、碳质板岩、千枚岩和片岩中呈层状、似层状和网脉状产出,但是各个矿床的主要矿体与海西期富碱性中基性或中酸性侵入岩脉群具有密切的时空分布关系,均属于浅变质岩为容矿围岩的中-低温热液型金矿床。

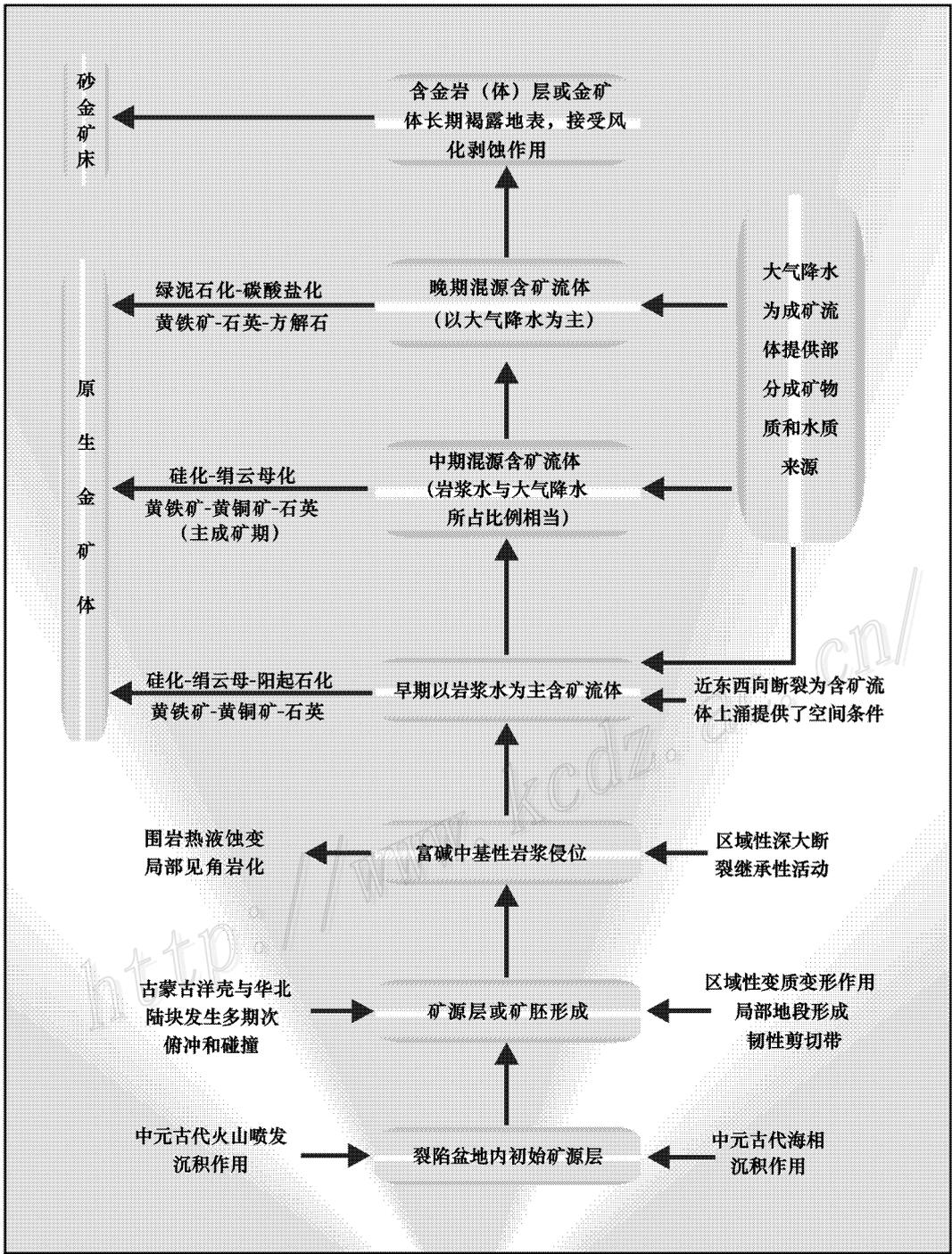


图 8 内蒙古中西部浅变质岩为容矿围岩金矿床形成过程示意图

Fig. 8 Schematic diagram showing the formation processes of the gold deposits and prospects hosted by low-grade metamorphic rocks in central-western Inner Mongolia

(2) 内蒙古中西部地区金矿化的强度不仅表现在空间上,同时也体现在其形成时间上,考虑到朱拉扎嘎、常山壕和赛音乌苏金矿床的成矿作用分别发生在中元古代和海西期,并且与古陆块裂解和洋壳-古陆块俯冲造山作用事件发生的时限大体一致,因此,金矿床是地壳特定演化阶段构造-岩浆

活动的产物。

(3) 中元古代古陆块张裂构造作用所诱发的海水沉积作用和海相火山活动可致金及其他成矿组分发生初步富集,并且在局部地段形成矿胚或矿源层。海西期构造-岩浆活动可通过下述 2 条途径形成具有工业价值的金矿床,一是对早

期矿源层进行叠加改造;二是有关含矿流体直接贯入容矿围岩形成金矿床。

(4) 内蒙古中西部中元古代火山-沉积岩地层分布广泛,个别地层单元金、砷和汞元素异常点(带)星罗棋布,其产出环境、岩性组合和结构构造特征与朱拉扎嘎、常山壕和赛音乌苏金矿化区完全相似。另外,这些地层单元中各类褶皱和断裂构造十分发育,并且为一系列富碱质中基性侵入岩脉(群)所切割,是进行隐伏金矿床找矿勘查的有利场所。

志 谢 笔者在野外工作期间得到哈达门沟金矿李伟先生和常山壕金矿江向东先生以及有关矿山行政管理人员和地质技术人员的大力支持,其中与各有关矿山技术人员的多次学术交流使笔者获益匪浅。审稿专家为论文修改提出了许多建设性的意见,对此笔者表示衷心感谢。

## References

Cline J S, Hofstra A H, Muntean J L, Tosdal R M and Hickey K A. 2005. Carlin-type gold deposits in Nevada: Critical geological characteristics and viable models [J]. *Econ. Geol.* 100th Anniversary Volume, 451-584.

Drew L J, Berger B R and Kurbanov N K. 1996. Geology and structural evolution of the Muruntau gold deposit, Kyzylkum desert, Uzbekistan [J]. *Ore Geol. Rev.*, 11: 175-196.

Editorial Committee of Discovery History of Mineral Deposits. 1996. The discovery history of mineral deposits of China-volume of Inner Mongolian Autonomous Region [M]. Beijing: Geol. Pub. House. 199-202 (in Chinese).

Groves D I and Bierlein F P. 2007. Geodynamic settings of mineral deposit systems [J]. *J. Geological Society*, 164(1): 19-30.

David I, Groves R, Goldfarb J, Gebre-Mariam M, Hagemann S G and Robert F. 1998. Orogenic gold deposits: A proposed classification in the context of their crustal distribution and relationship to other gold deposit types [J]. *Ore Geol. Rev.*, 13: 7-27.

Hu H F. 2006. The discussion on gold deposit origin in Proterozoic rift zone of the western segment of northern margin of north China platform [J]. *J. Lanzhou Univ.*, 42: 189-193 (in Chinese with English abstract).

Hu H F, Dai S, Tang Y H, Hou W R, Zhu Q and Liu P. 2008. Metallogenic characteristics and genesis of gold deposits in western rift zone of the northern margin of north China platform [J]. *Geol. & Prospect.*, 44(1): 9-14 (in Chinese with English abstract).

Huang Z Q, Shen C L and Wang S G. 2002. Ore prospects of platinum-group element deposits hosted in black shales in the Langshan-Zha'ertaishan area, Inner Mongolia [J]. *Geol. Bull. China*, 21(10): 663-667 (in Chinese with English abstract).

Inner Mongolian Bureau of Geology and Mineral Resources (IMBGMR). 1991. Regional geology of Inner Mongolian Autonomous Region [M]. Beijing: Geol. Pub. House. 725p (in Chinese with English abstract).

Jiang S H, Yang Y Q, Nie F J, Zhang J H, Liu Y, Li F X and Jia L Z. 2001a. Geological characteristics of the Zhulazhaga gold deposit in Inner Mongolia, China [J]. *Mineral Deposits*, 20(3): 234-242 (in Chinese with English abstract).

Jiang S H, Yang Y Q, Nie F J, Wang J M, Li F X and Jia L Z. 2001b. Studies on the sulfur and lead isotopic geology of the Zhulazhaga gold deposit in the Alxa district, Inner Mongolia, China [J]. *Geol. Rev.*, 47(4): 438-445 (in Chinese with English abstract).

Jiang S H and Nie F J. 2005. Geological and geochemical characteristics of Zhulazhaga gold deposit in Inner Mongolia, China [J]. *Acta Geologica Sinica*, 79(1): 87-97.

Kempe U, Belyatsky B V, Krymsky R S, Kremenetsky A A and Ivanov P A. 2001. Sm-Nd and Sr isotope systematics of scheelite from the giant Au(-W) deposit Muruntau (Uzbekistan): Implications for the age and source of Au mineralization [J]. *Mineralium Deposita*, 36: 379-392.

Morelli R, Creaser R A, Seltmann R, Stuart F M, Selby D and Graupner T. 2007. Age and source constraints for the giant Muruntau gold deposit, Uzbekistan, from coupled Re-Os-He isotopes in arsenopyrite [J]. *Geol.*, 35(9): 795-798.

Nie F J. 1990. A new type of gold deposit: The turbidite-hosted gold deposit [J]. *Oversea Mineral Deposits*, (2): 1-5 (in Chinese).

Nie F J, Jiang S H and Zhang J H. 2000. Exploration significance of sediment-hosted gold deposits in north China platform [J]. *Gold Geol.*, 6(1): 15-21 (in Chinese with English abstract).

Nie F J, Jiang S H, Su X X and Wang X L. 2002. Geological features and origin of gold deposits occurring in the Baotou-Bayan Obo district, south-central Inner Mongolia, People's Republic of China [J]. *Ore Geol. Rev.*, 20: 139-169.

Nie F J, Hu P, Jiang S H, Li Z Q, Liu Y and Zhou Y Z. 2005a. Type and temporal-spatial distribution of gold and antimony deposits (prospects) in southern Tibet, Tibet Autonomous Region, China [J]. *Acta Geologica Sinica*, 79(3): 373-385 (in Chinese with English abstract).

Nie F J, Jiang S H, Liu Y and Hu P. 2005b. Re-discussion on the time limitation of gold mineralization occurring within the hadamengou deposit, south-central Inner Mongolia Autonomous Region [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 21(6): 1719-1728 (in Chinese with English abstract).

Nie F J, Jiang S H, Zhang Y and Bai D M. 2007. Metallogenic studies and prospecting orientation in central and eastern segments along China-Mongolia border [M]. Beijing: Geol. Pub. House. 98-116 (in Chinese with English Abstract).

Niu S Y, Hu J and Sun A Q. 1993. Evolution of the paleoplate tectonics on the northern side of north China platform [J]. *Geol. Sci. & Techn. Infor.*, 12(1): 17-20 (in Chinese).

Ren J S, Wang Z X and Chen B W. 1999. The tectonics of China from a global view: A guide to the tectonic map of China and adjacent region [M]. Beijing: Geol. Pub. House. 1-32.

Wang J, Li S Q and Wang B L. 1989. The Langshan-Baiyunobo Rift System [A]. Contributions to the plate tectonics in north China

- [ M ]. Beijing : Peking University Press. 132p( in Chinese with English abstract ).
- Wang Q, Liu X and Li J Y. 1991. Plate tectonics between Cathaysia and Angaraland in China[ M ]. Beijing : Peking University Press. 151p( in Chinese with English abstract ).
- Xu Y J and Lin E W. 1991. An investigation on isotope compositions in the gold deposits of Baotou-Baiyunebe districts, Inner Mongolia[ J ]. J. Jiling Univ. ( Earth Science Edition ), 2( 2 ): 183-190( in Chinese with English abstract ).
- Zhai Y S. 2002. Some features of regional metallogeny of China [ J ]. Geol. & Prospect. , 38( 5 ): 1-4( in Chinese with English abstract ).
- Zhang C L. 1999. The geological feature of the mineralization of Saiwusu gold deposit, Inner Mongolia and its prospecting orientation[ J ]. Gold, 20( 10 ): 8-12( in Chinese with English abstract ).
- Zhang X Q, Hu H F and Liu P. 2007. Geological features and prospecting forecast of the Saiwusu gold deposit, Inner Mongolia[ J ]. Geol. & Prospect. , 43( 4 ): 36-40( in Chinese with English abstract ).
- Zhou J B, Zheng Y F, Yang X Y, Shu Y, Wei C S and Xie Z. 2002. Paleoplate tectonics and regional geology at Bayan Obo in northern Inner Mongolia[ J ]. Geol. J. China Univ. , 8( 1 ): 46-60( in Chinese with English abstract ).
- 江思宏, 杨岳清, 聂凤军, 王剑民, 李福喜, 贾林柱. 2001a. 内蒙古朱拉扎嘎金矿床地质特征[ J ]. 矿床地质, 20( 3 ): 234-242.
- 江思宏, 杨岳清, 聂凤军, 王剑民, 李福喜, 贾林柱. 2001b. 内蒙古西部朱拉扎嘎金矿床、铅同位素地质学研究[ J ]. 地质论评, 47( 4 ): 438-445.
- 内蒙古自治区地质矿产局. 1991. 内蒙古区域地质志[ M ]. 中华人民共和国地质矿产部专报, (一)区域地质, 第25号[ M ]. 北京: 地质出版社. 725页.
- 聂凤军. 1990. 一种新的金矿类型——浊积岩为容矿岩石的金矿床[ J ]. 国外矿床地质, ( 2 ): 1-5.
- 聂凤军, 江思宏, 张建华. 2000. 华北地台沉积岩型金矿床的找矿勘查意义[ J ]. 黄金地质, ( 1 ): 15-21.
- 聂凤军, 胡朋, 江思宏, 李振清, 刘妍, 周永章. 2005a. 藏南地区金和锑矿床(点)类型及其时空分布特征[ J ]. 地质学报, 79( 3 ): 373-385.
- 聂凤军, 江思宏, 刘妍, 胡朋. 2005b. 再论内蒙古哈达门沟金矿床的成矿时限问题[ J ]. 岩石学报, 21( 6 ): 1719-1728.
- 聂凤军, 江思宏, 张义, 白大明. 2007. 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. 98-116.
- 牛树银, 胡晓, 孙爱群. 1993. 华北地台北侧的古板块构造演化[ J ]. 地质科技情报, 12( 1 ): 17-20.
- 王楫, 李双庆, 王保良. 1989. 狼山-白云鄂博裂谷系[ A ]. 中国北方板块构造丛书[ C ]. 北京: 北京大学出版社. 132页.
- 王荃, 刘雪亚, 李锦轶. 1991. 中国华夏与安加拉古陆间的板块构造[ M ]. 北京: 北京大学出版社. 1-151.
- 徐雁军, 林尔为. 1991. 内蒙古包头-白云鄂博地区金矿床稳定同位素研究[ J ]. 长春地质学院学报, 21( 2 ): 183-190.
- 翟裕生. 2002. 中国区域成矿特征探讨[ J ]. 地质与勘探, 38( 5 ): 1-4.
- 张春雷. 1999. 内蒙古赛乌素金矿成矿地质特征及其找矿方向[ J ]. 黄金, 20( 10 ): 8-12.
- 张学权, 胡鸿飞, 刘萍. 2007. 内蒙古赛乌素金矿床成矿地质特征及找矿预测[ J ]. 地质与勘探, 43( 4 ): 36-40.
- 中国矿床发现史-内蒙古卷编委会. 1996. 中国矿床发现史-内蒙古卷[ M ]. 北京: 地质出版社. 279页.
- 周建波, 郑永飞, 杨晓勇, 舒勇, 魏春生, 谢智. 2002. 白云鄂博地区构造格局与古板块构造演化[ J ]. 高校地质学报, 8( 1 ): 46-61.

#### 附中文参考文献

- 胡鸿飞. 2006. 华北板块北缘西段中元古代裂谷带金矿床成因探讨[ J ]. 兰州大学学报, 42 : 189-193.
- 胡鸿飞, 戴霜, 唐玉虎, 侯万荣, 朱强, 刘萍. 2008. 华北板块北缘西段裂谷系金矿床成矿特征及成因探讨[ J ]. 地质与勘探, 44( 1 ): 9-14.
- 黄占起, 沈存利, 王守光. 2002. 内蒙古狼山-渣尔泰山地区与黑色岩系有关的铂族元素矿床找矿前景[ J ]. 地质通报, 10 : 663-667.
- 江思宏, 杨岳清, 聂凤军, 张建华, 刘妍, 李福喜, 贾林柱. 2001a. 内蒙古朱拉扎嘎金矿床地质特征[ J ]. 矿床地质, 20( 3 ): 234-242.