https://doi.org/10.3799/dqkx.2020.246



辽东白云-小佟家堡子矿集区控矿构造及成矿有利区预测

张拴宏^{1,2}, 胡国辉^{1,2}, 李建锋^{1,2}, 肖昌浩^{1,2}, 刘向冲^{1,2}, 张琪琪^{1,2}, 姚晓峰³, 刘福兴⁴, 王 伟⁴, 陈正乐^{1,2}, 张 青^{1,2}

1. 中国地质科学院地质力学研究所,北京 100081

2. 自然资源部古地磁与古构造重建重点实验室,北京 100081

3. 中国地质调查局发展研究中心,北京 100037

4. 辽宁省有色地质局一〇三队,辽宁丹东 118008

摘 要: 白云一小佟家堡子矿集区是辽东青城子矿集区的重要组成部分之一,包括位于北部的白云(二道沟、三道沟)、荒甸子 等大中型金矿床及位于南部的林家三道沟、小佟家堡子、杨树、桃源等大型或中小型金矿床,高家堡子、凤银大地、姜家沟等大 中型银矿床.前人对该区成岩成矿时代及金一多金属成矿作用开展了大量的研究工作,但控矿构造研究相对薄弱.研究结果 表明,北部白云一荒甸子矿区容(含)矿构造为近东一西走向,向南倾,倾角30°左右逆冲断裂带,沿走向延伸近8km.该逆冲断 裂带由主逆冲断层及与其近于平行的若干条逆冲断层组成,宽度可达200m.主断层面下部地层产状陡,上部缓,明显切层;而 上部逆冲断层则以顺层为主.断层面一般呈舒缓波状,缓倾部位为矿体富集区域.南部林家三道沟一小佟家堡子矿区容矿构 造为总体向北倾的缓倾逆冲断层,延伸稳定,在盖县组碎屑岩与大石桥组上部大理岩硅一钙面上部碎屑岩中形成金矿体,而 硅一钙面下部大理岩中则形成铅锌银矿体,不同矿区赋矿层位近于一致 NW 走向的尖山子断裂是本区规模最大的陡倾断裂, 长度超过13km,并具有多期活动特征.该断裂早期以右行走滑为主,晚期为正断层,在成矿后还有明显活动,可能将白云一荒 甸子矿区近东一西向容矿逆冲断裂带向南错移至扈家堡子一马隈子北一毛甸子一带,最大错断距离达6km.根据对白云一小 佟家堡子矿集区控矿构造及赋矿层位的综合分析,结合成矿后断裂活动的改造,提出了白云一荒甸子矿区以南和小佟家堡子 金矿一风银大地银矿2个深部成矿有利区及扈家堡子一马隈子北一毛甸子和桃源村以南2个外围成矿有利区. 关键词: 控矿构造;找矿预测;白云一小佟家堡子矿集区;金矿;铅锌银矿;辽东;矿床地质. 中图分类号: P54 **文章编号:** 1000-2383(2020)11-3885-15 收稿日期:2020-07-19

Ore-Controlling Structures and Metallogenic Favorable Area Prediction in Baiyun-Xiaotongjiabuzi Ore Concentration Area, Eastern Liaoning Province

Zhang Shuanhong^{1,2}, Hu Guohui^{1,2}, Li Jianfeng^{1,2}, Xiao Changhao^{1,2}, Liu Xiangchong^{1,2}, Zhang Qiqi^{1,2}, Yao Xiaofeng³, Liu Fuxing⁴, Wang Wei⁴, Chen Zhengle^{1,2}, Zhang Qing^{1,2}

1. Institute of Geomechanics, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100081, China

2. Key Laboratory of Paleomagnetism and Tectonic Reconstruction, Ministry of Natural Resources, Beijing 100081, China

3. Development and Research Center, China Geological Survey, Beijing 100037, China

4. 103 Branch of Non-Ferrous Geological Bureau of Liaoning Province, Dandong 118008, China

Abstract: The Baiyun-Xiaotongjiabuzi ore concentration area is one main part of the Qingchengzi ore concentration areas in eastern

引用格式:张拴宏,胡国辉,李建锋,等,2020.辽东白云一小佟家堡子矿集区控矿构造及成矿有利区预测.地球科学,45(11):3885-3899.

基金项目:国家重点研发计划课题(No.2018YFC0603802).

作者简介:张拴宏(1974-),男,研究员,从事区域地质、大地构造及前寒武纪地质学研究.ORCID: 0000-0002-2177-9039. E-mail:tozhangshuanhong@163.com

Liaoning Province. It consists of Baiyun (Erdaogou, Sandaogou) and Huangdianzi gold ore deposits in the north and Linjiasandaogou, Xiaotongjiabuzi, Yangshu, Taoyuan gold ore deposits and Gaojiabuzi, Fengyindadi and Jiangjiagou Ag ore deposits in the south. The results show that the Baiyun (Erdaogou, Sandaogou) and Huangdianzi gold ore deposits in the north are controlled by east-west striking thrust fault system that is about 8 km long along its strike. The ore-hosting thrust fault system dips to south with an average dipping angle of 30°. It is composed of a main thrust fault and several paralleling thrust faults and is about 200 m wide. The main thrust fault cut through the foliations of Dashiqiao and Gaixian formations and other paralleling thrust faults are usually developed along foliations of Dashiqiao and Gaixian formations. The thrust faults are characterized by wave-like surface and the thrust surfaces with low angle are favorable areas for ore bodies. The Linjiasandaogou, Xiaotongjiabuzi, Yangshu, Taoyuan gold ore deposits and Gaojiabuzi, Fengyindadi and Jiangjiagou Ag ore deposits in the south are controlled by northdipping low angle thrust fault. The ore-hosting thrust faults are developed near the contacts between the metaclastic rocks of Gaixian Formation and marbles of Dashiqiao Formation. Gold and Pb-Zn-Ag ore bodies exist within the thrust faults developed in the metaclastic rocks and marbles, respectively. The NW striking Jianshanzi fault is the largest and high angle fault in the area with a length over 13 km. Field investigation and kinematic analysis results show that the Jianshanzi fault is a multi-stage fault and served as dextral strike-slip in early stage and normal fault in late stage. After formation of the main gold and Pb-Zn-Ag ore deposits in the Baiyun-Xiaotongjiabuzi ore concentration area during the Triassic period, the Jianshanzi fault exhibited strong dextral strike-slip movement and the east-west striking ore-hosting thrust fault system in Baiyun-Huangdianzi ore deposits in west side of the Jianshanzi fault was most likely moved 6 km to south to the Hujiabuzi-north Maweizi-Maodianzi area in east side of the Jianshanzi fault. Based on the analysis results on the ore-controlling structures, ore-bearing strata and movements of the postmetallogenic faults, it is proposed south Baiyun-Huangdianzi ore deposits and Xiaotongjiabuzi-Fengyindadi as two deep metallogenic favorable areas, and Hujiabuzi-north Maweizi-Maodianzi and South Taoyuan village as two outside metallogenic favorable areas.

Key words: ore-controlling structure; metallogenic favorable area prediction; Baiyun-Xiaotongjiabuzi ore concentration area; gold ore deposit; Pb-Zn-Ag ore deposit; eastern Liaoning Province; mineral deposits.

0 引言

白云一小佟家堡子金一多金属(铅锌银)矿集 区位于辽宁风城县青城子镇北部,属于青城子矿集 区的主要组成部分之一.该地区是辽东地区金一多 金属(铅锌银)矿床分布最为集中的地区之一,分布 有白云(二道沟、三道沟)、荒甸子、林家三道沟、小 佟家堡子、杨树、桃源等大型或中小型金矿床,高家 堡子、凤银大地、姜家沟等大中型银矿床,桃源、新 岭、榛子沟、喜鹊沟、麻泡、北山、南山、甸南等大型 或中小型铅锌矿床及姚家沟小型钼矿床等(图1).

关于该地区及其外围成矿时代、矿床成因及岩浆作用前人已经开展了大量的调查研究工作,有大量的成果发表(关广岳和金成洙,1983;蒋少涌和魏菊英,1989;刘国平和艾永富,1998,1999,2001;刘 先利等,2000;薛春纪等,2003;代军治等,2006;孙 文涛等,2008;王可勇等,2008;Yu et al.,2009;段晓 侠等,2012;张森等,2012;张朋等,2016,2019; Duan et al.,2017;王玉往等,2017;刘军等,2018a; Liu et al.,2019;曾庆栋等,2019;赵岩等,2019;刘 永俊等,2020),但控矿构造研究相对薄弱(刘国平

和艾永富,2001).前人研究结果显示,该区金及铅锌 银等多金属成矿时代主要为三叠纪(如:刘国平和 艾永富,2000;薛春纪等,2003;段晓侠等,2012;张 朋等,2016;Liu et al., 2019),矿体主要受辽河群 盖县组及大石桥组接触带附近层间构造带控制 (如:刘国平和艾永富,1999;田豫才,1999;刘先利 等,2000;张森等,2012;张朋等,2016;王玉往等, 2017).金矿一般位于盖县组碎屑岩与大石桥组大 理岩接触带上部碎屑岩中,而铅锌银矿则主要位 于盖县组碎屑岩与大石桥组大理岩接触带下部的 大理岩之中(刘国平和艾永富,1999;田豫才, 1999;刘先利等,2000;张森等,2012;张朋等, 2016; 王玉往等, 2017). 虽然大多数学者认为白 云-小佟家堡子矿集区金-多金属(铅锌银)矿床 主要受辽河群盖县组及大石桥组接触带附近层间 构造带及其派生构造的控制,但关于这些构造带 的性质(滑脱构造带或逆冲断裂带)及在成矿中的 作用还有很大争议(刘君,1995;刘国平和艾永富, 1999, 2001; 王富春, 2002; 郎福全等, 2007; 赵鸿 志等,2009;杨新库,2011;陆军波等,2013;魏军 等,2015).关于尖山子、二道沟等区域性断裂在



据辽宁省有色地质局一〇三队底图修改补充

金一多金属成矿中的作用及含矿性还不清楚.

本文将对白云一小佟家堡子矿集区主要控矿 构造及尖山子、二道沟等区域性断裂的性质、变 形特征、空间展布、矿化特征进行分析,讨论这 些断裂在金及铅锌银等多金属成矿中的作用, 在此基础上开展成矿有利区域预测,以期对该 区外围及深部找矿提供依据.

1 区域及矿集区地质特征

研究区在大地构造位置上位于华北克拉通东 部胶一辽一吉裂谷一造山带东南缘.胶一辽一吉带 是位于龙岗地块与狼林地块之间的古元古代造山 带,发育有巨厚的辽河群沉积变质地层(盖县组、大 石桥组、高家峪组)及大量古元古代侵入岩.中一晚 三叠世期间,由于受南侧苏鲁造山带及北侧兴蒙造 山带的影响,在研究区有大量中一晚三叠世花岗岩 侵位.晚侏罗世一早白垩世,受古太平洋俯冲的影响,在研究区发育有大量的侵入岩及少量火山岩.

白云一小佟家堡子矿集区主要出露的地层为 盖县组和大石桥组,二者之间没有明显沉积间断, 呈渐变过渡关系.按岩性特征自下而上可大致分 为3套沉积变质地层:(1)大石桥组中一下部厚层 大理岩段,主要分布在白云金矿北侧及尖山子断 裂东侧马隈子以北,岩性主要为中厚层状白云质 大理岩、条带状大理岩,普遍见辉绿岩床侵入,这 些岩床发生了角闪岩相变质作用,局部含石榴石 等变质矿物,该段大理岩纯度很高,含矿性较差; (2)大石桥组上部大理岩夹碎屑岩段,主要出露在 白云金矿以南及青城子镇周边,岩性主要为薄层 或中厚层白云质大理岩、含白云母条带状大理岩 夹二云母石英片岩、石英片岩、砂线石云母片岩、 变粒岩,未见有变质辉绿岩床侵入,在大理岩内层 间构造带内发育有大量的铅锌银等多金属矿床; (3)盖县组碎屑岩段,岩性主要为二云母石英片 岩、砂线石云母片岩透闪石云母片岩、石榴石云母 片岩、石英片岩、变粒岩,局部夹薄层大理岩,该岩 段最下部层间构造带内金矿较为发育.

矿集区出露的规模较大的岩浆岩主要为古 元古代花岗岩基(大顶子、方家隈子、石家岭等) 及三叠纪花岗岩基(双顶沟、新岭等)及大量的 三叠纪花岗斑岩及煌斑岩岩脉(Yu et al., 2009; 段晓侠等, 2012;解洪晶等, 2018).其中古元古 代侵入岩有明显变质, 而三叠纪岩体则无明显 变形变质.另外, 近期年代学结果显示, 在白 云一小佟家堡子矿集区还部分有一些晚侏罗世 (如姚家沟岩株)及早白垩世岩脉或岩株(Yu et al., 2009; Sun et al., 2020; Xu et al., 2020).

区内辽河群沉积变质地层发生了强烈的褶皱 变形,大规模的褶皱构造包括白云山背斜(形)、石 家岭向斜(形)及方家隈子向斜(形)等,褶皱轴的 走向近于东一西向(图1).部分地区辽河群地层由 于受古元古代(如:大顶子岩基,锆石 SHRIMP U-Pb年龄1869±16 Ma,宋运红等,2016)及三叠纪 花岗岩基(如:新岭岩体,锆石 SHRIMP U-Pb年龄 225±2 Ma,Yu et al., 2009)侵位的影响而褶皱变 形.这些近东一西向褶皱的变形可能发生在古元 古代晚期,在中生代期间进一步叠加褶皱变形,形 成了现今复杂的褶皱形态.断裂构造除在盖县组 碎屑岩及大石桥组大理岩界面附近分布的近层间 断裂带外,还发育有近NW走向的尖山子断裂及近 NE走向的二道沟(或101)断裂带(图1).

2 控矿构造特征

2.1 北部白云-荒甸子矿区控矿构造特征

本区位于白云一小佟家堡子矿集区北部,白 云背斜(形)南翼,尖山子断裂以西.自东向西分布 有荒甸子、白云三道沟、白云二道沟(白云金矿主 矿)及冯家堡子等金矿床.地表采坑及井下调查结 合钻孔资料分析表明,尽管这些金矿床在地表呈 断续分布,但均受分布于盖县组碎屑岩中近东一 西向延伸的逆冲断裂带控制.前人称之为白云韧 性剪切带(杨新库,2011)、白云韧一脆性逆冲断层 带(魏军等,2015)或白云推覆构造带(郎福全等, 2007;赵鸿志等,2009;陆军波等,2013)等.该逆冲 断裂带东起白云荒甸子,西至冯家堡子,自东向西 延伸>8 km(图1). 主断裂面倾向南, 总体倾角在 30°左右,断层面呈舒缓波状,局部倾角可达40°~ 50°.该逆冲断裂带控制了白云金矿床及其外围金 矿体(脉)的空间产出范围,白云二道沟、三道沟、 荒甸子井下及地表所采金矿体均分布在该断裂带 及其次生断裂中.在荒甸子以东未见该断裂带及 金矿床出露,可能被尖山子断裂右行错移.

2.1.1 容(含)矿断裂带特征 容矿逆冲断裂带为 脆性断裂构造,总体上位于盖县组与大石桥组接 触带附近盖县组变质碎屑岩内,由主逆冲断层面 及与其近于平行的若干条逆冲断层组成,宽度可 达200 m.沿断裂带有花岗斑岩、石英斑岩、闪长玢 岩及煌斑岩脉侵入,时代可能以印支期为主(Liu et al., 2019), 少量岩脉形成于燕山期. 该容矿逆 冲断裂带在冯家堡子采坑(图2a,2b),白云三道 沟采坑(图2c,2d)、白云二道沟废弃采坑(图2e, 2f)及井下,荒甸子井下均见有非常好的露头,逆 冲断裂性质清楚,断层面上发育沿倾向擦痕(图 2f),但断裂带变形强度、出露宽度及含矿性由东 段(荒甸子-白云)向西(冯家堡子)有明显减弱趋 势.容矿逆冲断裂带沿倾向有分支复合现象(一条 含矿断裂分支为多条含矿断裂,出现多层矿体,图 3).金矿体主要位于断裂带内石英脉或硅钾蚀变 岩中,呈层状一似层状、扁豆状、脉状、透镜状等形 态,具分支复合、尖灭再现等特点,呈近于平行的 脉群产出.金矿石主要为星散浸染状构造,其次为 细脉状、团块状、角砾状和条带状构造等.金矿物





Fig. 2 East-west striking ore-hosting thrust faults and gold-bearing quartz veins in the mining pits from Baiyun to Fengjiabuzi



图 3 白云三道沟容矿逆冲断层分支现象 Fig. 3 Branch structures of the ore-hosting thrust fault in Sandaogou, Baiyun

赋存状态主要为包裹金、裂隙金和间隙金形式,呈 不规则粒状、细脉状和树枝状分布.

白云金矿周边及二道沟井下调查结果表明,近

东一西向逆冲断裂带内主断层面上、下盘岩层产状 及变形有明显差别:下盘片岩及含砂质条带状大理 岩岩层产状近于直立,倾角大于80°(白云二道沟井





下逆冲断层下盘片岩产状:198°~89°;白云三道沟 废弃采坑逆冲断层下盘片岩产状:188°~82°,图3), 变形较弱;而上盘盖县组岩层产状平缓,与主构 造面产状近于一致,变形较强.这种位于主逆冲 断层面下盘,近东西走向的陡倾片岩及含砂质条 带状大理岩在白云二道沟西侧河床及三道沟东 侧河床均可以见到(图4).位于主断裂面上盘盖 县组中,与主断裂带近于平行的逆冲断层则与盖 县组岩层产状近于平行.因此,白云一荒甸子矿 区容矿逆冲断裂带主逆冲断层面是切层的,而与 其平行的其他逆冲断层面则是近于顺层的(图 5).目前白云一荒甸子矿区所发现的金矿体主要 位于该主逆冲断层及其上盘的顺层逆冲断层中.

目前白云金矿区地表采坑、井下及钻孔结果显

示,近东一西向逆冲断裂带及其内金矿体在白云二 道沟、三道沟及荒甸子沿倾向向南延伸较为稳定, 显示在这些地区南侧深部有较好的成矿潜力.

2.1.2 金矿体富集规律 虽然白云一荒甸子矿区 近东一西向容矿逆冲断裂带沿走向及倾向延伸较 为稳定,但金矿体沿断裂带的分布却明显不均匀. 金矿体赋存有利部位一般为逆冲断层倾角较缓(断 坪)的部位,倾角较陡部位(断坡)一般矿化较差(图 6).在金矿体周围一般都发育有炭质断层泥或石墨, 厚度可达数厘米到数十厘米(图7).断坪部位有利 于金矿化的主要原因是这些部位在逆冲断层运动 过程中易于形成张性空间,有利于形成厚度较大的 富矿体.断裂带内炭质断层泥或石墨的存在可以阻 挡流体运移,促进含矿热液的沉淀.野外观察及总



图5 横穿白云三道沟一桃源铅锌矿示意性剖面图

Fig. 5 Sketch cross section from Sandaogou, Baiyuan to Taoyuan Pb-Zn ore deposit



图 6 白云三道沟含矿逆冲断层 Fig. 6 Wave-like surface of the ore-hosting thrust fault in Sandaogou, Baiyun

有机碳(TOC)分析表明,这些沿断裂带内金矿体周 围分布的炭质主要为断层活动过程中由无机碳转 换而成(Oohashi *et al.*, 2014; Cao and Neubauer, 2019),而不是沉积成因的有机碳。

2.1.3 成矿后断裂改造 在白云三道沟及白云二道 沟金矿北西侧废弃采坑内均见有 NNW-NWW 向断 裂,将近 E-W 走向容矿逆冲断层带右行错断(图 8), 错距可达数米至十米,为成矿后断裂,可能为尖山子 断裂的分支.白云二道沟坑道不同中段矿体平面图 显示近 E-W 向矿体大部分均被 NW 向断裂右行错 断,进一步证明矿体形成之后 NW 向断裂仍有活动 (图 9).另外,近 E-W 向容矿逆冲断层内见有含矿石 英脉透镜化(图 2c,2d),白云二道沟采坑内早白垩世 (锆石 U-Pb年龄为~120 Ma,项目组内部交流资料) 霏细岩脉被断裂带改造,显示这些容矿逆冲断层在 成矿后还有明显的活动.

2.2 南部林家三道沟-小佟家堡子矿区控矿 构造特征

本区位于白云一小佟家堡子矿集区南部,尖山 子断裂以西.在该区分布有林家三道沟、小佟家堡 子、杨树、桃源金矿床,高家堡子、凤银大地、姜家 沟银矿及桃源、新岭、榛子沟等铅锌矿床等.这一 地区位于宽缓向斜(形)的南翼及核部,容矿构造均 为位于碎屑岩及大理岩界面附近向北或NW缓倾 的逆冲断层(图10),可能是在碎屑岩及大理岩界 面附近早期形成的层间滑脱带的基础上发育起来 的.这些断层一般近于顺层产出,总体上与盖县组 及大石桥组产状近于一致,延伸较稳定.断层面一 般向N或NW倾,倾角为20°~30°,在林家三道沟 井下产状较缓(0°~10°,接近向斜核部).含矿断裂 带内挤压透镜体及炭质断层泥(或石墨)非常发育



图 7 白云一小佟家堡子矿集区含矿断裂带内炭质断层泥及炭质片岩(或石墨)

Fig. 7 Carbonaceous-rich gouge and schist (or graphite) within the ore-hosting faults in the Baiyun-Xiaotongjiabuzi ore concentration area



图 8 白云金矿区废弃采坑近 E-W 走向容矿逆冲断层被近 S-N 向断层右行错断 Fig. 8 Right-lateral movement of the east-west stiking ore-hosting thrust fault by the south-north striking post-metallogenic fault

(图 7d),该逆冲断裂带发育在碎屑岩中一般以金 矿为主,在大理岩中则以铅锌银多金属为主,在凤 银大地井下见有含金矿化带向铅锌矿带过渡部位, 这种金及铅锌银多金属成矿分带可能与成矿热液 在不同岩性介质中沉淀机制差异有关.

虽然该矿集区被人为分割成不同的矿区,容矿



Fig. 9 Planes of ore bodies in different mining levels from Erdaogou, Baiyuan ore deposit



Fig. 10 Sketch cross section from Taoyuan Village to Xiaotongjiabuzi

逆冲断层及矿体的产状也有变化,但不同矿区(林 家三道沟、小佟家堡子、杨树、桃源金矿床,高家堡 子、凤银大地铅锌矿床)金一多金属的赋存层位是 近于一致的(图10).部分矿区(如新岭、桃源铅锌矿 等)由于受中生代新岭花岗岩体侵位的影响,大理 岩及其层间容矿逆冲断层产状明显变陡(图5). 矿石构造主要为稀疏浸染状、细脉浸染状,其次 为脉状、块状和角砾状构造等.

目前该区采矿及勘探深度不大(<1000 m),一般认为大理岩下部"高家峪组"变粒岩为矿体底板,



图 11 尖山子断裂及其运动学标志 Fig. 11 Field photographs of Jianshanzi fault and its kinematic indicators

其下部已无金-多金属成矿潜力.但从区域对比来 看,在林家三道沟-小佟家堡子矿区赋矿大理岩层 位下部还有大理岩夹碎屑岩组合(大石桥组上部岩 段),这些大理岩夹碎屑岩中的层间逆冲断裂带内 也有形成金-多金属矿的可能.矿体的底板可以再 向深部到达大石桥组中-下部厚层大理岩段(含变 质基性岩床).因此在林家三道沟-小佟家堡子矿区 已经勘探的层位之下,仍有较大的金-多金属成矿 潜力,可作为本区深部找矿突破的方向之一.

2.3 尖山子断裂及其在成矿中的作用

尖山子断裂是本区规模最大的断裂之一,被认为对白云一小佟家堡子矿集区金矿床形成有明显控制作用(郎福全等,2007;张亚楠和姚富强, 2013;王玉往等,2017).该断裂北端可能起于白云荒甸子东侧,向南经椽子沟、蚂蚁沟、尖山子沟,南段可能终止于大蕨沟一跳石湖一带,长度约 13 km(图1).该断裂带除在蚂蚁沟废弃采坑出露 较好之外(图11a,11b),笔者还在椽子沟村西养殖 场内发现了尖山子断裂带的露头(图11c~11e). 该断裂带总体走向310°左右,倾角近于直立,沿走 向延伸非常稳定(这也是走滑断裂带的最主要特 征之一).断裂性质早期以右行走滑为主,发育水 平擦痕(图11b,11d);晚期为正断层(图11e).

除 NW 走向的近直立主断裂带之外,在尖山 子断裂 SW 盘还发育有大量的 NW-NNW 走向分 支断裂,特别是在尖山子断裂北端的白云二道沟、 三道沟及荒甸子一带,并将白云金矿区近 E-W 向 容矿逆冲断层或金矿体右行错断.在荒甸子村北 大石桥组近直立大理岩内产状为 248° _ 69° 的 NW 走向断层面上,发育有清楚的早期近水平右行走 滑及晚期近倾向正断擦痕及阶步(图 12).在白云 二道沟、三道沟及荒甸子采坑及井下,均见到容矿





逆冲断层及矿体被 NW-NNW 走向正断层或走滑 断层右行错断(图 8,图 9). 荒甸子井下也见有 NW 走向右行走滑断层面(图 11f),可能也是尖山 子断裂的分支断层.这种野外关系表明,尖山子断 裂在白云金矿及近东一西向逆冲断裂带形成之后 还有强烈的右行走滑及正断活动.

虽然在尖山子断裂蚂蚁沟等地有金矿化,但总体上该断裂及其分支断裂未见有大规模金一多金属矿化.尖山子断裂带活动历史长,早期可能主要发挥了导矿构造的作用,是深部成矿流体运移的主要通道,局部可能含矿.该断裂带在成矿后仍有较强的活动,其右行走滑可能将白云容矿逆冲断层右行错断,最大错断距离可能达6km,其分支断裂(近 S-N或 NW向)也将白云矿区矿体右行错断(图 8, 图 9).

2.4 二道沟(或101)断裂

二道沟断裂是研究区规模最大的 NE 向断裂构造.该断裂可能起始于青城镇西南东青苔峪村,向 NE 经荒下、荒上、石家西沟、汪沟、罗家沟 里北,最终在桃源村附近与尖山子断裂相交汇, 延伸长度近 12 km(图 1).虽然二道沟断裂在地 表未见有可靠露头,但航磁及其他地球物理资料 均显示该断裂为一条重要的边界断裂(项目组内 部交流),并且倾角陡、延伸深度较大.

桃源铅锌矿位于二道沟断裂附近,铅锌矿赋存 在碎屑岩与大理岩接触带下部大理岩中近于顺层 的逆冲断裂带内,距接触带数十至100 m.断层面产 状 330° ∠54°,与围岩大理岩产状(334° ∠53°)相一 致.断裂带及其旁侧的次级断裂带内发育有致密状 或浸染状方铅矿及黄铁矿.此断裂带变形及矿化特 征与高家堡子、凤银大地等地非常相似,可能为同 一层位,可能受南侧三叠纪新岭岩体侵位的影响, 此处大理岩及层间容矿逆冲断层倾角明显变陡.由 于桃源铅锌矿区 NE 走向容矿逆冲断层为层间断 裂,从地层关系分析不属于二道沟断裂的延伸,但 二道沟断裂可能在成矿过程中发挥了导矿作用.

除桃源铅锌矿之外,在二道沟断裂南侧的 大理岩中的层间断裂带及其分支断裂中发育大 量铅锌银矿床,是青城子地区多金属矿床的最 主要赋矿层位,靠近断裂带附近的桃源铅锌矿 品位较高.因此二道沟断裂可能在铅锌银等多 金属矿床中发挥了导矿作用,是铅锌银成矿热 液由深部向上运移的主要通道之一.

3 矿集区剥蚀程度及矿床保存条 件分析

白云一小佟家堡子矿集区三叠纪岩体为无变 形变质的中一浅成似斑状花岗岩体,表明该地区 三叠纪以来剥蚀程度不深,中生代以来矿床保存 条件较好.目前该矿集区浅部岩体以印支期为主, 成矿时代也主要集中在印支期(刘国平和艾永富, 2000;薛春纪等,2003;段晓侠等,2012;张朋等, 2016;Liu *et al.*,2019),仅有少量燕山期岩脉或岩 株出露(Yu *et al.*,2009;Sun *et al.*,2020;Xu *et al.*,2020),因此白垩纪以来剥蚀程度很浅.

目前的年代学结果显示,辽东地区金-多金属 成矿时代有三叠纪、侏罗纪及早白垩世多期,特别 是白云-小佟家堡子矿集区除三叠纪成矿之外,还 发现了一些侏罗纪及早白垩世成矿的线索(Yu et al., 2009;曾庆栋等,2019),而五龙矿集区成矿时代 则为早白垩世(刘军等,2018b;Yu et al., 2020).这 种不同地区成矿时代的差异,一方面与构造背景及 成矿条件有关,另一方面可能与剥蚀程度差异有 关.在相同构造背景条件下,三叠纪岩体及矿床 保存的地区(如白云一小佟家堡子矿集区)三叠 纪以来剥蚀程度相对浅,而白垩纪岩体及成矿保 存的地区(如五龙矿集区)三叠纪以来剥蚀程度 相对深,早期形成的三叠纪岩体及矿床可能已被 剥蚀殆尽.因此在白云一小佟家堡子矿集区已发 现的三叠纪金一多金属矿床深部,可能还保存有 早白垩世金一多金属成矿潜力,为本区深部找矿 突破的另外一个重要方向之一.

4 成矿有利区预测

根据对白云一小佟家堡子矿集区控矿构造及赋矿层位的综合分析,结合成矿后断裂活动的改造,提出了2个深部成矿有利区和2个外围成矿有利区.

4.1 深 部 成 矿 有 利 区 1 : 白 云 - 荒 甸 子 矿 区 以 南 深 部

根据白云矿区二道沟、三道沟、荒甸子地表、 采坑、井下调查及钻孔资料分析,确定白云金矿 区容矿构造为近 E-W 向走向(图1),南倾的容矿 逆冲断层及其分支断裂.近期在白云三道沟以南 施工的2000m钻孔内浅部150m、500m大理岩 内层间地层带中见有铅锌银矿化,深部900m、 1200m、1650m及1700m碎屑岩中层间断裂带 内见有至少4层金矿化(项目组内部交流资料), 表明该断裂带向南向深部延伸较为稳定.因此, 白云一荒甸子矿区以南深部该逆冲断层的延伸 是深部找矿的重点目标.

4.2 深部成矿有利区2:小佟家堡子金矿-风银大地 银矿深部

这一地区集中分布有小佟家堡子、杨树、高家堡子、凤银大地等矿床,金矿体位于盖县组碎 屑岩与大石桥组上部大理岩硅一钙面上部碎屑 岩内向北缓倾的逆冲断层内,而铅锌银则位于 硅一钙面下部向北缓倾的逆冲断层内,不同矿区 赋矿层位近于一致.目前一般认为该区大理岩下 部"高家峪组"变粒岩为金一多金属矿体底板,其 下部已无成矿潜力,故采矿及勘探深度不大 (<1000 m).但从区域对比来看,在这些矿区赋 矿大理岩层位下部还有大理岩夹碎屑岩组合(大 石桥组上部岩段),其中的层间逆冲断裂带内也 有形成金一多金属矿的可能,勘探深度应该到达 大石桥组中一下部厚层大理岩段(含变质基性岩床).因此,在小佟家堡子金矿一凤银大地银矿区 已经勘探的层位之下仍有较大的金一多金属成矿 潜力,可以作为深部找矿突破的另外一个目标.

4.3 外围成矿有利区1: 扈家堡子-马隈子 北-毛甸子

这一地区位于尖山子断裂以东,虽然目前没有 发现大型金一多金属矿床,但分布有林家金矿(已 废弃)、龙庙北沟金矿(已废弃)及多个民采金矿坑. 辽宁省有色地质局一〇三队在该区附近钻探结果 显示 200 m左右有金矿化或矿体.根据对尖山子断 裂的地表调查分析,提出了白云矿区近E-W向南倾 容矿逆冲断裂带向东延伸至荒甸子以东可能被尖 山子断裂右行走滑向南错移至扈家堡子一马隈子 北一毛甸子一带(图1),该地区深部可能存在有类 似白云矿区近E-W向南倾容矿逆冲断层,因此可以 作为外围金一多金属找矿重点区之一.

4.4 外围成矿有利区2:桃源村以南

NW 走向的尖山子断裂及 NE 走向的二道沟 (101)断裂是本区规模最大的区域性断裂,可能是 金一金属成矿热液运移的主要通道,在成矿中发挥 了导矿作用.桃源村以南位于二道沟断裂与尖山子 断裂交汇部位的南侧,成矿条件优越.该区地表出 露为盖县组碎屑岩,下部为大石桥组上部大理岩夹 碎屑岩,产状较为平缓,成矿条件与林家三道沟、小 佟家堡子等相似,前期钻探发现多层金一多金属矿 化,并在 300 m深度发现隐爆角砾岩及金矿化,因此 可以作为另外一个外围金一多金属找矿重点区.

5 结论及讨论

(1)北部白云一荒甸子矿区容矿构造为近东一 西走向,向南倾,倾角30°左右逆冲断裂带.该逆冲 断裂带由主逆冲断层及与其近于平行的若干条逆 冲断层组成,宽度可达200m.主断层面下部地层产 状陡,上部缓,明显切层;上部逆冲断层则以顺层为 主.该逆冲断裂带控制了白云金矿床及其外围金矿 体(脉)的空间产出范围,白云二道沟、三道沟、荒甸 子井下及地表所采金矿体均分布在该断裂带及其 次生断裂中.断层面一般呈舒缓波状,缓倾部位为 矿体富集区域.容矿逆冲断裂带向南延伸较稳定, 可以作为深部找矿重点区之一.

(2)南部林家三道沟一小佟家堡子矿区容矿构 造为总体向北倾的缓倾逆冲断层,延伸稳定,在盖 县组碎屑岩与大石桥组上部大理岩硅一钙面上部 碎屑岩中形成金矿体,而硅一钙面下部大理岩中则 形成铅锌银矿体,不同矿区赋矿层位近于一致.在 该地区大理岩下部"高家峪组"变粒岩下部大理岩 夹碎屑岩内可能有类似的容矿逆冲断层及金一多 金属矿化,可作为深部找矿的另外一个重点区.

(3)尖山子断裂早期为右行走滑,晚期为正断 层,断层面近于直立,早期可能主要发挥了导矿作 用.该断裂在成矿后仍有强烈的右行走滑运动,其 分支断裂将白云矿区近东一西向矿体右行错断,主 断裂则可能将白云近东一西向容矿逆冲断裂带右 行错移到扈家堡子一马隈子北一毛甸子一带.

致谢:野外工作得到了白云金矿、林家三道沟 金矿、桃源铅锌矿、小佟家堡子金矿、凤银大地银矿 等单位领导和技术人员的大力支持与协助,2位审 稿专家提出了很多建设性意见,在此表示衷心的 感谢!

References

- Cao, S., Neubauer, F., 2019. Graphitic Material in Fault Zones: Implications for Fault Strength and Carbon Cycle. *Earth-Science Reviews*, 194: 109-124.
- Dai, J. Z., Wang, K. Y., Yang, Y.C., et al., 2006. The Characteristics and Mechanism of Ore-Forming Fluid of Xiaotongjiabuzi and Linjia Gold Deposits, Qingchengzi Orefield. *Geological Review*, 56(6): 836-842 (in Chinese with English abstract).
- Duan, X. X., Liu, J. M., Wang, Y. B., et al., 2012. Geochronology, Geochemistry and Geological Significance of Late Triassic Magmatism in Qingchengzi Orefield, Liaoning. Acta Petrologica Sinica, 28(2): 595-606 (in Chinese with English abstract).
- Duan, X.X., Zeng, Q.D., Wang, Y.B., et al., 2017. Genesis of the Pb-Zn Deposits of the Qingchengzi Ore Field, Eastern Liaoning, China: Constraints from Carbonate LA-ICP-MS Trace Element Analysis and C-O-S-Pb Isotopes. Ore Geology Reviews, 89: 752-771.
- Guan, G. Y., Jin, C.Z., 1983. The Genesis of the Baiyun Gold Deposit. *Geology and Exploration*, 19(10): 12– 20 (in Chinese).
- Jiang, S. Y., Wei, J. Y., 1989. Geochemistry of the Qingchengzi Lead - Zinc Deposit. *Mineral Deposits*, 8(4): 20-28 (in Chinese with English abstract).
- Lang, F. Q., Che, H., Liu, H. G., 2007. Geological Characteristics and Ore Prospecting of Baiyun Gold Deposit, Fengcheng County, Liaoning Province. *Gold*, 28(11):

16-20 (in Chinese).

- Liu, G. P., Ai, Y. F., 1998. Petrological Geochemistry and Ore-Forming Conditions of the Xiaotongjiapuzi Gold Deposit in Eastern Liaoning. *Mineral Deposits*, 17(4): 289– 295 (in Chinese with English abstract).
- Liu, G. P., Ai, Y. F., 1999. A Discussion on Some Major Problems of the Baiyun Gold Deposit, Eastern Liaoning. *Mineral Deposits*, 18(3): 219-225 (in Chinese with English abstract).
- Liu, G. P., Ai, Y. F., 2000. Studies on the Mineralization Age of Baiyun Gold Deposit in Liaoning. Acta Petrologica Sinica, 16(4): 627-632 (in Chinese with English abstract).
- Liu, G. P., Ai, Y. F., 2001. Ore-Control Structures and Ore Prospecting in the Qingchengzi Pb-Zn-Ag-Au Orefield, Liaoning Province. *Mineral Deposits*, 20(2): 147-152 (in Chinese with English abstract).
- Liu, J., 1995. Tectonic Deformation Texture and Ore-Controlling Features of Qingchengzi Orefield, Liaoning Province. *Liaoning Geology*, 12(2): 148-157 (in Chinese with English abstract).
- Liu, J., Liu, F. X., Li, S. H., et al., 2018a. Fluid Inclusions and Isotopic Geochemistry Characteristics of the Xiaotongjiapuzi Gold Deposit, Liaoning Province, China. *Geoscience*, 32(4): 631-645 (in Chinese with English abstract).
- Liu, J., Wang, S. L., Li, T. G., et al., 2018b. Geochronology and Isotopic Geochemical Characteristics of Wulong Gold Deposit in Liaoning Province. *Mineral Deposits*, 37 (4): 712-728 (in Chinese with English abstract).
- Liu, J., Liu, F.X., Li, S.H., et al., 2019. Formation of the Baiyun Gold Deposit, Liaodong Gold Province, NE China: Constraints from Zircon U-Pb Age, Fluid Inclusion, and C-H-O-Pb-He Isotopes. Ore Geology Reviews, 104: 686-706.
- Liu, X. L., Jiang, Y., Liu, Z. Y., 2000. Geological Characteristics and Metallogenic Mechanism of Gaojiapuzi Large-Scale Au-Ag Deposits in Qingchengzi Orefield. *Liaoning Geology*, 17(2): 121-127 (in Chinese with English abstract).
- Liu, Y.J., Han, X.T., Liu, Z.H., et al., 2020. Zircon U-Pb Ages, Geochemical Characteristics and Geological Significance of Early Cretaceous Granites in Fengcheng Area, Eastern Liaoning Province. *Earth Science*, 45(1): 145-155 (in Chinese with English abstract).
- Lu, J. B., Qin, L. Y., Zhang, M., et al., 2013. Baiyun Gold Deposit Geological Characteristics Analysis in Fengcheng City of Liaoning Province. Non-Ferrous Min-

ing and Metallurgy, 29(2): 11-15 (in Chinese with English abstract).

- Oohashi, K., Han, R., Hirose, T., et al., 2014. Carbon-Forming Reactions under a Reducing Atmosphere during Seismic Fault Slip. *Geology*, 42(9): 787-790.
- Song, Y. H., Yang, F. C., Yan, G. L., et al., 2016. SHRIMP U-Pb Ages and Hf Isotopic Compositions of Paleoproterozoic Granites from the Eeastern Part of Liaoning Province and Their Tectonic Significance. *Acta Geologica Sinica*, 90(10): 2620-2636 (in Chinese with English abstract).
- Sun, G., Zeng, Q., Wang, Y., et al., 2020. Geochronology and Geochemistry of Mesozoic Dykes in the Qingchengzi Ore Field, Liaoning Province, China: Magmatic Evolution and Implications for Ore Genesis. *Geological Journal.* https://doi.org/10.1002/gj.3646
- Sun, W. T., Sun, J. G., Sun, H. Y., et al., 2008. Geology and Mineralization of Super Large Yangshuqu Au-Ag-Pb Deposit in the Qingchengzi Minefield. *Geology and Prospecting*, 44(4): 24-30 (in Chinese with English abstract).
- Tian, Y. C., 1999. Geology and Metallogenesis of the Xiaotongjiapuzi Gold Deposit. Geological Exploration for Non-Ferrous Metals, 8(5): 264-269 (in Chinese with English abstract).
- Wang, F. C., 2002. The Tectonic Characteristics of Baiyun Gold Deposit, Liaoning Province. *Gold*, 23(5): 4-7 (in Chinese with English abstract).
- Wang, K. Y., Wang, L., Liu, Z. H., et al., 2008. Characteristics of Fluid Inclusions and Origin of Gaojiapuzi Silver Deposit, Liaoning Province. Acta Petrologica Sinica, 24(9): 2085-2093 (in Chinese with English abstract).
- Wang, Y. W., Xie, H. J., Li, D. D., et al., 2017. Prospecting Prediction of Ore Concentration Area Exemplified by Qingchengzi Pb-Zn-Au-Ag Ore Concentration Area, Eastern Liaoning Province. *Mineral Deposits*, 36(1): 1– 24 (in Chinese with English abstract).
- Wei, J., 2015. Analysis of Metallogenic System in Baiyun Gold Deposit in the Eastern Liaoning Province. Non -Ferrous Mining and Metallurgy, 31(2): 1-3 (in Chinese with English abstract).
- Xie, H. J., Wang, Y. W., Li, D. D., et al., 2018. Geochronology and Geochemistry Study of the Shuangdinggou Intrusion in the Qingchengzi Ore Concentration Area, Eastern Liaoning Province. *Acta Geologica Sinica*, 92 (6): 1264-1279 (in Chinese with English abstract).
- Xu, L., Yang, J.H., Zeng, Q., et al., 2020. Pyrite Rb-Sr,

Sm-Nd and Fe Isotopic Constraints on the Age and Genesis of the Qingchengzi Pb-Zn Deposits, Northeastern China. Ore Geology Reviews, 117: 103324.

- Xue, C. J., Chen, Y. C., Lu, Y.F., et al., 2003. Metallogenic Epochs of Au Deposits in Qingchengzi Ore-Clustered Area, Eastern Liaoning Province. *Mineral Deposits*, 22(2): 177-184 (in Chinese with English abstract).
- Yang, X. K., 2011. The New Understanding to the Geological Characteristic and Deep Exploration of the Baiyun Gold Deposit in Liaoning Province. *Geology* and Resources, 20(2): 111-114 (in Chinese with English abstract).
- Yu, B., Zeng, Q., Frimmel, H.E., et al., 2020. The 127 Ma Gold Mineralization in the Wulong Deposit, Liaodong Peninsula, China: Constraints from Molybdenite Re-Os, Monazite U-Th-Pb, and Zircon U-Pb Geochronology. Ore Geology Reviews, 121: 103542.
- Yu, G., Chen, J.F., Xue, C.J., et al., 2009. Geochronological Framework and Pb, Sr Isotope Geochemistry of the Qingchengzi Pb-Zn-Ag-Au Orefield, Northeastern China. Ore Geology Reviews, 35: 367-382.
- Zeng, Q. D., Chen, R. Y., Yang, J.H., et al., 2019. The Metallogenic Characteristics and Exploring Ore Potential of the Gold Deposits in Eastern Liaoning Province. *Acta Petrologica Sinica*, 35(7): 1939-1963 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, P., Li, B., Li, J., et al., 2016. Re-Os Isotopic Dating and Its Geological Implication of Gold Bearing Pyrite from the Baiyun Gold Deposit in Liaodong Rift. *Geotectonica et Metallogenia*, 40(4): 731-738 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, P., Zhao, Y., Kou, L. L., et al., 2019. Zircon U-Pb Ages, Hf Isotopes and Geological Significance of Mesozoic Granites in Dandong Area, Liaodong Peninsula. *Earth Science*, 44(10): 3297-3313 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, S., Zhang, D., Sha, D. X., et al., 2012. Metallogenetic Characteristics and Genesis of the Gold (Silver) Mineralization in Linjiasandaogou-Xiaotongjiapuzi Area, Eastern Liaoning Province. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 42(3): 725-732 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, Y. N., Yao, F. Q., 2013. Discovery and Significance of Si-K Altered Rock Type Gold Deposit in Baiyun Gold Deposit. Northwestern Geology, 46(3): 122-128 (in Chinese with English abstract).
- Zhao, H. Z., Yang, S. S., Li, H., 2009. Geologic Features of Baiyun Gold Ore Deposit and Discussion of the Gene-

sis. Non-Ferrous Mining and Metallurgy, 25(3): 4-7 (in Chinese with English abstract).

Zhao, Y., Kou, L., Zhang, P., et al., 2019. Characteristics of Geochemistry and Hf Isotope from Meta-Gabbro in Longchang Area, Liaodong Peninsula: Implications on Evolution of the Jiao-Liao-Ji Paleoproterozoic Orogenic Belt. *Earth Science*, 44(10): 3333-3345 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 代军治,王可勇,杨言辰,等,2006.青城子小佟家堡子、林家金矿成矿流体特征及成矿机制.地质论评,56(6):836-842.
- 段晓侠,刘建明,王永彬,等,2012. 辽宁青城子铅锌多金属 矿田晚三叠世岩浆岩年代学、地球化学及地质意义.岩 石学报,28(2):595-606.
- 关广岳,金成洙,1983.白云金矿床的成因.地质与勘探,19 (10):12-20.
- 蒋少涌,魏菊英,1989. 青城子铅锌矿床的地球化学. 矿床 地质,8(4):20-28.
- 郎福全,陈贺,刘恒刚,2007.辽宁凤城白云金矿床地质特 征及找矿方向.黄金,28(11):16-20.
- 刘国平, 艾永富, 1998. 辽东小佟家堡子金矿岩石地球化学 及成矿条件研究. 矿床地质, 17(4): 289-295.
- 刘国平, 艾永富, 1999. 辽宁白云金矿床某些基本问题探 讨. 矿床地质, 18(3): 219-225.
- 刘国平, 艾永富, 2000. 辽宁白云金矿床成矿时代探讨. 岩 石学报, 16(4): 627-632.
- 刘国平,艾永富,2001.辽宁青城子铅锌银金矿田控矿构造 与找矿方向.矿床地质,20(2):147-152.
- 刘君, 1995. 青城子矿田构造变形结构及其控矿特征. 辽宁 地质, 12(2): 148-157.
- 刘军,刘福兴,李生辉,等,2018a. 辽宁省小佟家堡子金矿 床流体包裹体及同位素地球化学特征.现代地质,32 (4):631-645.
- 刘军, 王树岭, 李铁刚, 等, 2018b. 辽宁省五龙金矿床成岩 成矿年代学及同位素地球化学特征. 矿床地质, 37(4): 712-728.
- 刘先利,姜瑛,刘志远,2000. 青城子矿田高家堡子大型金 银矿床地质特征及成矿机制. 辽宁地质,17(2): 121-127.
- 刘永俊,韩晓涛,刘正宏,等,2020. 辽东凤城地区早白垩世 花岗岩的锆石 U-Pb 年龄、地球化学特征及地质意义. 地球科学,45(1):145-155.
- 陆军波,秦连元,张蒙,等,2013.辽宁凤城白云金矿床地质

特征分析.有色矿冶, 29(2):11-15.

- 宋运红,杨凤超,闫国磊,等,2016.辽东古元古代花岗岩 SHRIMP U-Pb年龄、Hf同位素组成及构造意义.地质 学报,90(10):2620-2636.
- 孙文涛,孙吉国,孙红云,等,2008. 青城子矿田杨树区超大型金银铅锌矿床地质特征及成矿机理.地质与勘探, 44(4):24-30.
- 田豫才,1999. 辽东小佟家堡子金矿床地质特征及成矿机理 探讨. 有色金属矿床与勘查,8(5):264-269.
- 王富春,2002. 辽宁白云金矿床的控矿构造特征. 黄金,23 (5):4-7.
- 王可勇,王力,刘正宏,等,2008.辽宁高家堡子大型银矿床 流体包裹体特征及矿床成因.岩石学报,24(9):2085-2093.
- 王玉往,解洪晶,李德东,等,2017.矿集区找矿预测研究——以辽东青城子铅锌-金-银矿集区为例.矿床 地质,36(1):1-24.
- 魏军,2015. 辽东地区白云金矿床成矿系统分析. 有色矿 治,31(2):1-3.
- 解洪晶,王玉往,李德东,等,2018. 辽东青城子矿集区双顶 沟岩体年代学及地球化学研究. 地质学报,92(6): 1264-1279.
- 薛春纪,陈毓川,路远发,等,2003.辽东青城子矿集区金、 银成矿时代及地质意义.矿床地质,22(2):177-184.
- 杨新库,2011.对辽宁白云金矿床地质特征及深部找矿的新 认识.地质与资源,20(2):111-114.
- 曾庆栋,陈仁义,杨进辉,等,2019.辽东地区金矿床类型、 成矿特征及找矿潜力.岩石学报,35(7):1939-1963.
- 张朋,李斌,李杰,等,2016. 辽东裂谷白云金矿载金黄铁矿 Re-Os定年及其地质意义. 大地构造与成矿学,40(4): 731-738.
- 张朋,赵岩,寇林林,等,2019.辽东半岛丹东地区中生代花 岗岩锆石 U-Pb年龄、Hf同位素特征及其地质意义.地 球科学,44(10):3297-313.
- 张森,张迪,沙德喜,等,2012.辽东林家三道沟一小佟家堡 子地区金(银)矿成矿特征及成因.吉林大学学报(地球 科学版),42(3):725-732.
- 张亚楠,姚富强,2013. 辽宁凤城白云金矿硅钾蚀变岩型金 矿的发现及其意义.西北地质,46(3):122-128.
- 赵鸿志,杨沈生,李辉,2009.白云金矿床地质特征及成因 探讨.有色矿冶,25(3):4-7.
- 赵岩,寇林林,张朋,等,2019. 辽东半岛隆昌地区 ~2113 Ma变辉长岩地球化学与Hf同位素研究:对胶 辽吉造山带构造演化的制约.地球科学,44(10): 3333-3345.