内蒙古大青山地区与基性岩墙群有关的金矿床的地质特征及其意义*

Geological Features of Gold Deposits Associated to Early Middle Proterozoic Mafic Dykes and Their Genetic Implications and Exploration Significance

毛德宝[1 2] 钟长汀[1,2] 沈保丰[2] 赵维宽[3] 席 忠[3] 周静宇[3]

（1 中国地质大学，北京 100083；2 天津地质矿产研究所，天津 300170；
3 内蒙古第一地质矿产勘查开发院，内蒙古 察素齐 010100）

Mao Debao[1,2], Zhong Changting[1,2], Shen Baofeng[2], Zhao Weikuan[3], Xi Zhong [3], Zhou Jingyu[3]

(1 China University of Geoscinces, Beijing 100083,China; 2 Tianjin Institute of Geology and Mineral Resources, 300179, Tianjing China；3 First Exploration and Development Team of Geology and Mineral Resources, The Inner Mongolia Bureau of Geology and Mineral Resources, Chasuqi 010100, Inner Mongolia,China)

摘 要 最近在内蒙古大青山地区发现了一种与基性岩墙群有关的金矿床，矿床多产在基性岩墙内，部分矿体也产在岩墙附近的围岩中。基性岩墙群的测年研究表明其形成时代为中元古代，矿床的地质地球化学特征研究显示成矿可能与基性岩墙群有密切的成因联系，这一推断若被证实，将是在华北地台首次发现的与中元古代基性岩墙群有关的金矿床。由于中元古代基性岩墙群是古元古代超大陆裂解和地幔柱活动的重要标志，因而该类型金矿床可能是地幔柱活动的产物。对该类型金矿床的深入研究具有重要的理论和地质找矿意义。

关键词 基性岩墙群 金矿床 地幔柱 成矿作用

1 区域成矿地质背景

研究区位于内蒙古大青山地区土默特左旗—呼和浩特一带。区内出露的地层主要有古—中太古界集宁群麻粒岩、透辉石大理岩和含石墨的矽线榴石片麻岩，晚太古界乌拉山群斜长角闪岩、角闪斜长片麻岩、磁铁石英岩、变粒岩和大理岩，古元古界二道洼群绢云绿泥石英片岩、二云母石英片岩、大理岩，马家店群千枚岩、板岩和绢云石英片岩，中生界红色砂岩，砂砾岩等。

区内岩浆活动以前寒武纪最为非常发育，广泛分布太古宙的英云闪长岩、奥长花岗岩、紫苏花岗岩系列和二长花岗片麻岩钾长、花岗岩片麻岩系列，古元古代的石英闪长岩、黑云母二长花岗岩和钾长花岗岩，中元古代的斑状二长花岗岩、钾长花岗岩、辉长辉绿岩脉和石英钾长石石伟晶岩脉。燕山期的钾长花岗岩、正长岩在区内零星分布，此外在区域上还分布有华力西期的花岗闪长岩、黑云母花岗岩。

区内地质构造极为复杂，太古宇和古元古界构成结晶基底，广泛发育各种褶皱变形、透入性片理和片麻理构造、韧性剪切带，且自古中太古界至古中元古界，变质程度从麻粒岩相递变为低绿片岩相，变形程度也逐渐减弱。盖层构造主要表现为一系列的逆冲推覆构造和伸展断裂构造，其主要是燕山运动的产物。推覆构造广泛发育，表现为前寒武纪老地质体推置于新地层之上，局部形成封闭、半封闭式构造，由于一系列推覆构造将不同时代的地层相分隔，各时代地层展布很不协调。伸断裂构造也较发育，构成了区内中

* 本文得到国家自然科学基金（49802008）和地质调查项目资助。
第一作者简介 毛德宝，男，1964 年生，研究员，从事矿床学、区域矿产资源评价和前寒武纪地质研究。

生代断陷盆地的边界，特别以分布在研究区南部边界的阴山山脉山前大断裂最为著名。

2　矿床地质特征

本次工作共发现含金基性岩墙（脉）和蚀变带 20 多条，这些矿脉总体上呈北东东向分布，并成群集中，构成了鹿场、种地窑子、店上和牌楼等矿脉集中分布区（图 1）。基性岩脉的产状较为复杂，以北东东—近东西向和北西两个方向的产状最多，少数岩脉呈近南北向，岩脉产状较陡，多大于 50º。

2.1　鹿场地区

该区有矿化蚀变带 9 条，其中以Ⅰ、Ⅱ、Ⅳ号矿化蚀变带规模最大，矿化最强，其中Ⅰ号矿化带发育于基性岩墙与大理岩的内接触带，长约 2 km，主体走向北东、倾向南东、倾角 45～80°。Ⅱ号矿化带长约 1.5 km，主体走向 310°，倾向南西、倾角 30°～50°。Ⅵ号金矿化带，发育于花岗岩脉与大理岩接触带，可见长 600 m，走向 300°，倾向北东，倾角 30～50°，脉岩与大理岩的接触带糜棱岩化较强，金矿化产于该带中。鹿场金矿区已圈出 11 个金矿体，矿体长 50～400 m 不等，宽 0.5～7.5 m，金品位(1～28)×10^{-6}，平均品位(1.12～13.39)×10^{-6},产状主要有两组：倾向 145～155°和 185～220°，倾角较大，一般 50～80°，少数近南北向。

2.2　种地窑子地区

种地窑子矿区现发现有一定规模的金矿体 2 条：Ⅰ号金矿体产于辉绿岩脉的外接触带马家店岩群(?)大理岩夹绢云石英片岩中。矿石类型为褐铁矿化破碎蚀变大理岩。矿体走向 345°左右，倾向南西，倾角 50°左右，现控制长度约 100 m，宽 1～6.7 m，平均宽度 3.85 m，含金品位在（2.75～9.65）×10^{-6}，平均

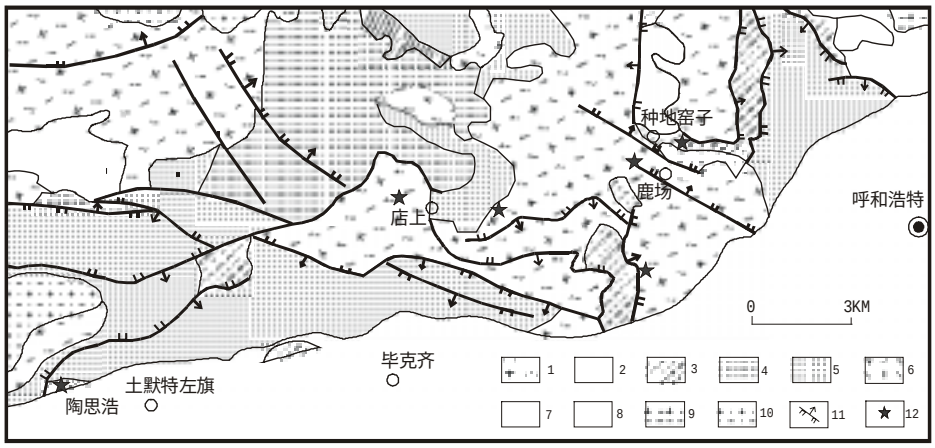


图 1　研究区地质简图

1—古中太古代花岗片麻岩-表壳岩；2—古元古界；3—中元古界；4—古生界；5—中生界；6—古元古代石英闪长岩；7—古元古代二长花岗岩；8—华力西期花岗岩；9—中元古代钾质花岗岩；10—中生代花岗岩；11—断层；12—矿床位置

品位 6.00×10^{-6}。Ⅱ号金矿体位于辉绿岩脉的外接触带古元古界石英闪长岩（δo_2^1）中，该矿化带长约 700 m，宽 10～25 m，矿化带走向 330～350°，倾向南西，倾角南缓北陡 20～60°。矿石类型为黄铁矿化破碎蚀变石英闪长岩，矿体走向 350°，倾向近西，倾角 30°±。现控制长度 110 m，宽 0.5～3 m，平均厚度 1.62 m，最高品位 17.05×10^{-6}，平均品位 4.7×10^{-6}。

2.3　牌楼地区

矿区基性岩脉和金矿化发育普遍，其中主要有三条金矿脉有一定规模，编号分别为Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ，共圈出 4 个金矿体：Ⅰ号金矿脉产于山前大断裂派生的次一级蚀变破碎带中，围岩为古元古代二长花岗岩。矿体控制长度 94 m，平均厚度 3.33 m，一般品位（1.17~3.21）×10^{-6}，最高品位 12.30×10^{-6}，平均品位 3.44×10^{-6}。矿体走向 35 °，倾向南东，倾角 75o；Ⅱ号金矿脉产于山前大断裂次一级北东向破碎蚀变带中。

矿脉总体走向 40~75o，倾向北西，倾角 37~60°，矿脉断续长约 350 m，矿体产于二长花岗岩之破碎带中，控制矿体长 110 m，矿体较连续。总体走向 40~75°，倾角 37~53°。平均厚度 2.46 m，平均品位 3.29×10^{-6}，最高品位 13.77×10^{-6}。蚀变破碎带向东西两端延伸进入大理岩中；III号金矿脉产于基性岩墙与乌拉山群大理岩之内接触带。基性岩墙长约 120 m，北端走向 5～10°，南端走向 50～55°，倾向北西，倾角约 50°，基性岩墙北端矿化较好，现控制矿体长约 60 m，产状与基性岩墙产状一致，东接触带矿化较好，地表矿体平均厚度 1.36 m，平均品位 10.0×10^{-6}，最高品位 15.48×10^{-6}。

2.4 矿化特征

矿石金属矿物成分主要有黄铁矿，含少量黄铜矿、闪锌矿、磁黄铁矿、白铁矿、自然金等。自然金的粒度为 0.005～0.1 mm，多为 0.01～0.03 mm。自然金成色 820～850。脉石矿物有白云石、方解石、绿泥石、绢云母、石英、斜长石等。自然金多赋存在脉石矿物的间隙。围岩蚀变主要发生在基性脉岩的内接触带（内部和边部），主要蚀变有碳酸盐化、绿泥石化、绿帘石化、绢云母化和硅化。碳酸盐化主要表现为白云石、方解石呈细脉浸染状分布。绿泥石和绿帘石化表现为辉石和角闪石的蚀变交代，而斜长石的绢云母化和高岭土化普遍。硅化表现为石英呈浸染状分布。在大理岩内蚀变作用不强，沿裂隙分布有硅化（石英细脉和网脉）、钾长石化（石英-钾长石细脉）、黄铁矿化（呈细脉浸染状或石英-钾长石-黄铁矿细脉分布）和类夕卡岩化（石榴石沿矿脉附近大理岩中的裂隙分布）。

根据矿物和矿脉生成的先后顺序，成矿作用可划分为 2 期：热液成矿期和表生氧化期。热液成矿期有 3 个成矿阶段：① 黄铁矿阶段，以大量的黄铁矿形成为特征。黄铁矿为自形—半自形结构，主要为立方体，次为五角十二面体，呈稠密浸染状分布，在黄铁矿的内部或边部分布有少量的白铁矿和磁黄铁矿；② 黄铜矿-闪锌矿-白云石阶段，呈细脉浸染状切穿早阶段形成的黄铁矿。早期黄铁矿被构造破碎成碎裂状，可见黄铜矿穿插交代黄铁矿，黄铁矿呈细碎粒状沿第二阶段矿脉两侧分布，闪锌矿和方铅矿含量甚微；③ 白云石-方解石-石英阶段。该阶段基本不含金属矿物，呈细脉状切穿早阶段矿化。金矿化发生哪一阶段目前尚难确定，这是因为光片下见到的自然金多出现在脉石中，在黄铁矿或其它金属矿物中较难见到，黄铁矿的含量和金品位的相关关系不明显，局部黄铁矿化强烈的地方，金含量并不高，黄铁矿的自形程度较高，呈自形半自形粒状结构，有立方体形和五角十二面体形。推测金矿化形成在黄铁矿之后。

3 稳定同位素地球化学特征

矿石中黄铁矿的硫同位素组成 $\delta^{34}S$ 为-2.3‰～-15.2‰，这一组成特征与产在碱性、偏碱性岩中的乌拉山、东坪等金矿的硫同位素组成相似。研究表明硫同位素组成受多因素控制，如硫源、成矿温度、pH、f_{O_2} 等。由于该类矿床产于前寒武纪变质岩区，排除了硫来自生物硫的可能性，其较大的负值很可能说明成矿时的 f_{O_2} 较大、或者 pH 值为碱性程度较高的环境。矿石矿物中出现了磁黄铁矿、黄铁矿共生的情况说明成矿时的氧化程度较高。而根据大本模式也可大致推断含矿流体的总硫同位素比值 $\delta^{34}S$ 大约接近 0‰，显示深源的特征。

铅同位素组成如图 2 所示，可见同位素数据分布较为集中，主要分布在地幔铅演化线附近，其模式年龄主要集中在 800 Ma 年左右。铅同位素的组成特点反

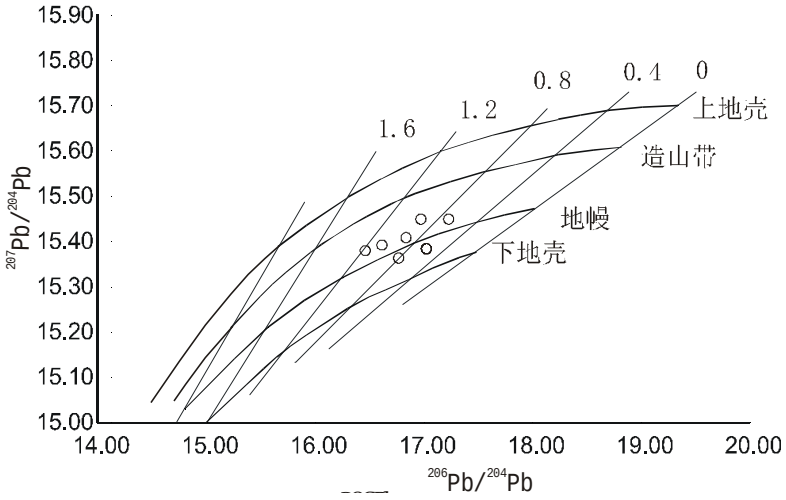


图 2 矿床铅同位素组成图解

（构造铅演化线据 Zartmanand and Doe，1981）

映成矿物质可能来源于地幔，但其模式年龄对成矿年龄的指示意义还有待进一步研究。

4　矿床成因讨论

4.1　岩浆活动的年代学研究

对矿区内岩浆活动采用单颗粒锆石 U-Pb 同位素方法进行了系统测定，结合区域地质资料，获得区内同位素年代格架如下：太古宙 TTG 岩系、紫苏花岗岩岩系的年龄为 2360～2650 Ma，古元古代片麻状花岗岩、变质石英闪长岩、二长花岗岩、钾长花岗岩的年龄分别为 2200～2300 Ma、2100～2200 Ma、1900～2100 Ma、1850～1900 Ma，中元古代的基性岩脉（岩墙群）和石英钾长石脉的年龄是 1750～1850 Ma。与成矿时空关系密切的岩浆活动是基性岩脉和石英钾长石脉，表现为双峰式的岩浆侵入活动。

4.2　基性岩墙的地球化学特征和成因

本区与金成矿有关的基性岩墙呈灰绿色，强烈蚀变后呈灰黑色—灰色，蚀变弱地区，岩石的辉长辉绿结构明显，主要造岩矿物为斜长石（含量 40%～60%），半自形柱状，呈三角格架状分布，其间充填柱粒状的闪石化辉石及次角闪石（两者含量约 25%～40%），此外，含有约 3%～8%的正长石和次生石英，副矿物主要是磁铁矿、钛铁矿和凝灰石，岩石的钠黝帘石化和绿泥石化强烈。岩石的化学成分特点为高钾、高铁、高钛,在硅-碱图上显示碱性玄武岩系列的特征。稀土元素总量较高、轻稀土元素富集、重稀土平坦、略显负 Eu 异常。微量元素的地球化学特征表现为富集高度不相容元素、亏损高场强元素和 Sr。地球化学特征总体显示出高钾的板内玄武岩的特征，综合分析可以认为基性岩墙可能来源于富集地幔、并在上升过程中有一定量地壳物质的混入。中元古代早期的基性岩墙群在华北地块广泛分布，与奥长环斑花岗岩、斑状二长花岗岩、承德大庙一带的基性超基性岩体、大红峪火山岩的形成时代接近，代表一次大的非造山或裂谷岩浆活动。一般认为基性岩墙群是大陆裂解作用的产物，与地幔柱活动密切相关，中元古代早期的基性岩墙群反映了古元古代末形成的超大陆的裂解作用。

4.3　成矿作用探讨

我们试图通过热液蚀变矿物的同位素年代学确定成矿时代，但对矿体内与热液蚀变作用有关的金红石进行颗粒 U-Pb 稀释法测龄，给出的年龄为（1946±1）Ma，这一年龄要大于区内基性岩墙的形成年龄（U-Pb 单颗粒锆石的年龄为（1744±4）Ma，但与矿区内一套钾质花岗岩的年龄（1958±1）Ma 和部分石英钾长石脉的年龄（1985±8）Ma 相近，显然其代表了一次构造热事件，但不是成矿年龄。由于矿体在空间上都产在基性岩墙的内外接触带，且大多产在内接触带，基性岩墙蚀变矿化作用普遍，成矿的硫同位素和铅同位素特征显示地幔来源，因而推测成矿应与基性岩墙群的形成有关。国外也有类似矿床的报道，目前我们正在用其它同位素的方法来验证这一推断，假如这一推断正确的话，那么将是区内首次发现的与中元古代早期基性岩墙群侵入活动有关金矿床，其成矿环境应是大陆内部地幔柱活动初期的伸展环境。这一认识对于进一步深入研究地幔柱活动与金矿床的成因，在该地区乃至整个华北地块寻找新类型的金矿床、取得找矿勘探新突破都具有重要意义。

参　考　文　献

陈纪明，刘纲，李才春，等. 1996. 内蒙古乌拉山-大青山绿岩型金矿床地质 [M]. 北京：地质出版社.

甘盛飞. 1992. 内蒙古大青山太古宙麻粒岩带的变质构造演化及金矿成矿 [M]. 沈阳：辽宁科学技术出版社.

内蒙古地质矿产局. 1991. 内蒙古自治区区域地质志 [M]. 北京：地质出版社.

聂风军等. 1994. 乌拉山金矿稳定同位素的研究[J]. 矿床地质，13（2）：106～107 .

Zartman R E., Doe B R. 1981. Plumbotectonics-the model [J]. Tectonophysics. 75: 5～62.