

青藏高原北缘伸展构造对金矿形成的 控制作用及其成矿时代探讨*

Control of Mesozoic Extension on Gold Deposit and Metallogenetic Epoch in Northern Tibetan Plateau

陈宣华¹ 杨 风² George E. Gehrels³ 王小凤¹

陈柏林¹ 陈正乐¹ 杨 懿² 李学智²

(1 中国地质科学院地质力学研究所, 北京 100081; 2 新疆地质调查院一所, 新疆 乌鲁木齐 830011; 3 Department of Geosciences, University of Arizona, Tucson, AZ85721, USA)

Chen Xuanhua¹, Yang Feng², George E Gehrels³, Wang Xiaofeng¹,

Chen Bailin¹, Chen Zhengle¹, Yang Yi², Li Xuezhi²

(1 Institute of Geomechanics, CAGS, Beijing 100081, China; 2 Xinjiang Geological Survey, Urumchi 830011, Xinjiang, China; 3 Department of Geosciences, University of Arizona, Tucson, AZ85721, USA)

摘 要 青藏高原北缘阿尔金山东北段大平沟金矿床是受EW向伸展构造(拉配泉正断层)控制的韧性剪切带型金矿床。本文阐明了大平沟金矿床地质特征和矿床成因, 并利用锆石TIMS法和离子探针U-Pb定年方法、⁴⁰Ar/³⁹Ar阶段加温测年和MDD模拟方法, 分析了与金矿床有关的岩浆作用和伸展构造的活动时代。结果表明, 与大平沟金矿床有关的花岗岩浆活动的时代为早奥陶世(485 Ma), 而金矿床的控矿构造(拉配泉正断层)的活动时代为早侏罗世(200 ~187 Ma期间)。由此可见早古生代岩浆活动为青藏高原北缘的金矿化提供了物质来源, 而中生代伸展作用直接控制了金矿化, 金的成矿时代为早侏罗世。

关键词 伸展作用 金矿床 成矿时代 青藏高原北缘

青藏高原北缘阿尔金山东北段的大平沟金矿床, 处在中生代伸展构造拉配泉正断层中段的下盘岩石中, 是受伸展构造控制的韧性剪切带型金矿床。

1 区域地质概况

阿尔金山脉把青藏高原与塔里木盆地分割开来, 在晚新生代区域构造格架中, 整个阿尔金地块地处在活动的左行走滑阿尔金断裂的北边(Burchfiel et al., 1989)。阿尔金山东缘由太古宙麻粒岩和元古宙片麻岩组成。元古宙含叠层石沉积序列, 主要为厚层石英岩和硅质灰岩, 出现在区域中部和西部。早古生代火山岩夹海相沉积岩只出现在阿尔金山脉的东部, 而阿尔金山西段主要由大理岩、片岩和长英质片麻岩组成的变沉积岩类。阿尔金西段片麻岩变质程度局部达到麻粒岩相(Zhang et al., 2001)。本区晚古生代地层比较少。出露的泥盆纪地层为典型的硅质碎屑沉积, 石炭系为浅海沉积。侏罗系含煤陆相沉积在本区零星分布(新疆地质矿产局, 1993)。

阿尔金山东段新生代变形主要表现为几条EW走向的第三纪逆冲断裂, 构成晚始新世—早渐新世盆地的边界, 并被阿尔金断裂所切割(Yin et al., 2000)。阿尔金山西段的北部边界为江孜—拉萨依断裂(ENE走向, 左行走滑), 它与阿尔金山东段EW走向的第三纪逆冲断裂系可能具有运动学联系(Cowgill et al., 2000;

* 国家地质调查项目(编号K1.1.2.3和DKD2001027-5)资助

第一作者简介 陈宣华, 1967年生, 男, 博士, 副研究员, 从事构造地质学和岩矿及地球化学研究。

Yin et al., 2000)。

2 矿床地质特征

2.1 赋矿围岩及其蚀变类型

大平沟金矿床赋矿围岩为太古宙达格拉格布拉克群 (Ardg) 变质岩系, 主要为褐灰—褐红色变粒岩、灰绿色变粒岩夹片岩、灰绿色片岩夹变粒岩, 其中金矿体的直接围岩是褐红色钾长变粒岩。变粒岩中发育韧性剪切变形和糜棱岩化, 主要构造岩有糜棱岩化钾长变粒岩、绢云母石英钾长石粗糜棱岩、糜棱岩、碎裂糜棱岩和断层泥等。围岩蚀变强烈, 主要有硅化、黄铁矿化、绢云母化、钾长石化、黄铜矿化、方解石化和绿泥石化, 显示中温热液矿床的围岩蚀变特点。其中硅化与金矿化的关系最为密切。

2.2 矿石特征和金的赋存状态

大平沟金矿床矿石类型简单, 主要为(黄铁矿)—自然金类型和黄铁矿—黄铜矿—自然金类型, 大多具有变晶结构和交代-充填结晶结构, 部分为填隙结构和碎裂结构, 并具有块状、团块状、细脉状、浸染状、片状和条带状等构造。矿石矿物主要为自然金、自然铜、黄铜矿、黄铁矿等, 并含有闪锌矿、斑铜矿、钛铁矿、铜蓝、褐铁矿、磁铁矿、孔雀石、黄钾铁矾等。脉石矿物主要为石英、绿泥石、钾长石、绢云母和方解石等, 其次为绿帘石、黑云母、磷灰石、萤石等。

自然金呈不规则粒状、椭圆状、串珠状、叶片状及微细脉状, 或呈纤维状。具延展性。粒度一般在几至十几 μm , 最大可达 $50\sim 70\ \mu\text{m}$ 以上, 成色在 915 ~ 946 之间 (电子探针分析), 为金-银系列矿物。金的赋存状态有以下几种: ① 蚀变脉石矿物 (如绿泥石) 中包裹的微细粒金; ② 石英或钾长石包裹的黄铁矿晶体中微细粒金, 常与黄铜矿形成连晶; ③ 石英脉中微细粒金, 呈石英晶体中的固体包裹体, 分布在石英微裂隙附近, 形成串珠状或微细脉状。蚀变糜棱岩中有时可见粒状明金, 风化的黄铁矿晶体中则更容易见到片状明金。

2.3 含金破碎蚀变岩带内元素聚散和组合特征

金含量分析结果表明, 金主要赋存在强烈变形的富含较细石英脉的破碎蚀变岩带中, 而在石英粒度较粗的纯净石英脉中金含量较低而只显示了高的背景值。金含量基本上表现为与片理化及破碎的程度有关, 片理化越强烈, 金含量就越高 (最高可达 30×10^{-6} 以上)。由于强、弱片理化带相间出现, 金的矿化富集带和亏损带也相间出现。含金石英脉均呈透镜状, 处在片理化强烈的绿泥石片岩中。后期的断裂作用对金矿化富集也有作用, 取自破碎蚀变岩带中的断层泥样品也具有较高的金含量 (3.74×10^{-6})。破碎蚀变岩带内成矿元素组合最明显的特征是 Ba 含量很高, 最高可达 0.7% 以上。成矿元素的分布具有与金含量类似的情况, 富集带与亏损带相间出现。

与金含量具有正相关关系的有 SiO_2 、 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 、 K_2O 等, 相关系数较大的为 K_2O 、 Fe_2O_3 ; 与金含量具有负相关关系的有 FeO 、 MnO 、 MgO 、 CaO 、 Na_2O 等, 相关系数较大的为 MnO 、 CaO 。金含量与各氧化物的相关分析结果表明, 钾化和褐铁矿化与金的成矿作用具有最密切关系。

2.4 成矿物质来源

破碎蚀变岩带内变粒岩、强片理化变粒岩、条带状钾长石英脉 (含金石英脉) 和不含金矿化烟灰色石英脉稀土元素分析结果表明, 含金石英脉与赋矿围岩的稀土配分具有强相似性, 它们都具有轻稀土强烈富集的特征, 可能具有相同的物质来源, 并处在演化的不同阶段: ① 钾长变粒岩形成阶段; ② 片理化阶段; ③ 含金石英脉 (细) 形成阶段; ④ 粗大的纯净无金矿化石英脉形成阶段。

2.5 流体包裹体特征和成矿物理条件

钾长石石英脉型金矿石石英中流体包裹体均较发育, 但普遍很小, 一般为 $1\sim 4\ \mu\text{m}$, 密集成群或沿微裂隙分布。包裹体中 CO_2 含量普遍较低。包裹体均一温度介于 $130\sim 400^\circ\text{C}$ 之间, 并以 $198\sim 290^\circ\text{C}$ 为主, 属中温热液矿床。盐度和密度数据反映出本矿区流体具有岩浆热液和变质热液的共同来源 (李荫清等, 1988)。根据成矿压力计算得到的成矿深度范围为 $1.61\sim 2.68\ \text{km}$ 。

2.6 氢氧同位素特征和成矿流体性质

大平沟金矿床氢氧同位素测定结果表明, $\delta^{18}\text{O}_{\text{石英}}=11.2 \sim 13.0\%$, 与花岗岩中数值 ($+7\% \sim +13\%$; Faure, 1977) 相当。相应流体包裹体中水的氢同位素为 $\delta\text{D}=-57\% \sim -59\%$ 。根据 Clayton 等 (1972) 给出的石英-水体系氧同位素分馏随温度变化的关系式, 并由包裹体捕获温度求得成矿流体中水的 $\delta^{18}\text{O}$ 为 $2.24\% \sim 4.04\%$ 。在 $\delta\text{D}-\delta^{18}\text{O}$ 图解中, 投影点位于岩浆水与变质水组成的混合流体左侧, 表明成矿流体以岩浆水和变质水为主, 并有一定的大气降水混入。

3 早古生代岩浆活动

阿尔金山北缘早古生代花岗岩类可能形成于活动陆缘的 (火山) 岛弧构造环境中 (陈宣华等, 2001)。与金矿成矿作用有关的钾长花岗岩出露于大平沟金矿区外围的南东侧, 矿区仅发育钾长花岗岩脉, 长 $10 \sim 50\text{ m}$ 不等, 最长约 100 m , 宽 1 m 到 15 m 左右。岩石具花岗结构、块状构造, 主要矿物为钾长石 (65%)、石英 (25%) 和斜长石 ($5\% \sim 10\%$)。部分钾长花岗岩发生碎裂和蚀变, 局部发育韧性剪切带, 并具有明显的韧性变形和片理化。U-Pb 锆石 TIMS 法和离子探针分析分别给出大平沟钾长花岗岩的年龄为 (485 ± 10) Ma (美国亚利桑那大学同位素实验室, 上交点年龄) 和 (413 ± 7) Ma (美国加州大学洛杉矶分校离子探针实验室, 最大点年龄) (样品号 99DP2-1)。

早古生代岩浆活动在青藏高原北缘非常发育, 可能为该地区金矿化提供了物质来源, 因为钾长变粒岩的形成可能就与该期岩浆活动直接有关。同时, 由于流体包裹体显示的成矿深度远远小于花岗岩的侵入深度, 花岗岩的侵入年龄 (由 U-Pb 锆石年龄为代表) 不能代表金矿的成矿时代。不过, 由于花岗岩浆活动与火山作用的内在联系, 其侵入年代可能代表了该地区火山喷流-热水沉积型铜矿的成矿时代 (王小凤等, 2001)。

4 中生代伸展构造

阿尔金山北缘拉配泉正断层 (也称为“阿尔金山北坡深断裂”), 为一条近 EW 向的舒缓波状断裂带, 位于阿尔金山北坡, 为塔里木地块结晶基底的南界, 总体上呈近 EW 方向延伸, 向东经拉配泉、安南坝、延到阿克塞, 并与阿尔金山断裂的北支相交, 长度可达 300 km 以上。断层面主要为南倾, 并微具舒缓波状特征, 倾角在 $30^\circ \sim 70^\circ$ 之间, 通常在 45° 左右。断裂下盘主要为太古宙高角闪岩相和麻粒岩相深变质岩及混合岩以及上部元古宙绿片岩, 上盘为褶皱了的古生代大陆边缘沉积 (主要为寒武-奥陶系) 和蛇绿混杂岩套。沉积盖层中还具有零星分布的上石炭统和侏罗系。第四系的一系列凹地也沿着该断裂带呈长条状分布。由于该断裂是变质基底与沉积盖层之间的一个滑脱面, 因此在大地构造区划上具有重要的意义。

沿断层面形成了较大规模的韧性剪切带, 带内可见大大小小的构造透镜体和挤压破碎带及糜棱岩带、片理化带, 宽度从 200 m 到 1 km 以上, 最宽可达 2 km 。带内构造岩包括断层角砾岩、碎裂岩、压碎岩、糜棱岩化岩石和糜棱岩, 片理发育, 变形砾岩中砾石被普遍拉长, 长轴一般平行片理。阿尔金山北缘断裂具有右旋剪切和正断性质, 变形域从韧性向韧性脆性和脆性转化, 是一条具有较大规模的剥离断层。断裂作用在大平沟地区形成了一个相对张性的构造环境, 是金矿成矿的有利部位。

阿尔金山北缘大平沟金矿床具有与受剥离断层控制的金属矿床相类似的特点 (傅昭仁等, 1992), 可以用剥离断层控矿模式来解释。由于剥离断层带矿床的产出一般具有沿走向呈串珠状分布的特点, 因此, 沿阿尔金山北缘断裂 EW 走向方向可能会有该类型金矿找矿的更大突破。

拉配泉正断层中生代活动的时代证据来自两个方面。首先是断层上盘的侏罗系半地堑沉积, 其次是热年代学分析的证据。 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 热年代学研究和 MDD 模拟得到拉配泉正断层下盘两期快速冷却过程。第一期发生在断裂中段和西段 (大平沟地区的伸展构造为该阶段产物), 时间为早侏罗世的 $187 \sim 200\text{ Ma}$ 期间;

● 新疆地质局, 1981. 区域地质调查报告索尔库里幅 (1: 20 万)。

而第二期发生在断裂东段的拉配泉地区, 时间为早白垩世晚期的 100 Ma。

5 成矿时代探讨

由于大平沟地区钾长花岗岩岩浆侵位的深度较大, 远远大于金矿的成矿深度, 因此, 早古生代岩浆活动的年龄不能代表金矿的成矿时代。伸展构造控制的韧性剪切变形和地壳快速抬升的时代正可以代表金矿的成矿时代。

青藏高原北缘以大平沟金矿为代表的韧性剪切带型金矿床, 主成矿期大致与阿尔金北缘伸展构造(拉配泉正断层)的主活动期时代相当(王小凤等, 2001; 2000)。由于拉配泉正断层具有两个时期的活动历史, 而第二阶段活动历史仅出现在离大平沟较远的拉配泉地区, 没有在根本上影响到大平沟金矿的形成和演化, 因此, 大平沟金矿床的形成时代可以认为是早侏罗世(187~200 Ma)。伸展构造形成的韧-脆性变形带的深度与通过流体包裹体计算的深度相当, 也说明了拉配泉正断层是控制大平沟金矿床形成的主要构造, 两者具有相同的活动时期。此外, 该地区红柳沟金矿床和祥云金矿床均处在拉配泉正断层的上盘, 也可能受到该断裂伸展作用的影响和控制。中生代伸展构造与金的成矿作用之间的密切关系, 为青藏高原北缘地区金矿找矿工作提供了有利方向。

致 谢 感谢美国加州大学洛杉矶分校尹安教授、Harrison教授、Cowgill博士和Grove博士在 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 热年代学分析和MDD模拟方面给予作者的帮助。

参 考 文 献

- 陈宣华, 王小凤, 杨风, 等. 2001. 阿尔金山北缘地区早古生代岩浆活动的构造环境. 地质力学学报, 7 (3): 193~200.
- 傅昭仁, 李德威, 李先富, 等. 1992. 变质核杂岩及剥离断层的控矿构造解析. 武汉: 中国地质大学出版社.
- 李荫清, 等. 1988. 流体包裹体在矿床学和岩石学中的应用. 北京: 北京科学技术出版社.
- 王小凤, 陈宣华, 陈正乐, 等. 2000. 阿尔金北缘地区铜金矿化富集规律. 见: 中国地质学会编. “九五”全国地质科技重要成果论文集. 北京: 地质出版社. 230 ~233.
- 王小凤, 陈宣华, 陈正乐, 等. 2001. 阿尔金山地区铜金矿化富集规律. 地质力学学报, 7 (3): 201~207.
- 新疆维吾尔自治区地质矿产局. 1993. 新疆维吾尔自治区区域地质志. 北京: 地质出版社.
- Burchfiel B C, Deng Q, Molnar P, et al. 1989. Intracrustal detachment with zones of continental deformation. *Geology*, 17: 748~752.
- Cowgill E, Yin A and Wang X F. 2000. Late Cenozoic left-reverse slip movement along the Northern Altyn Tagh Fault and its possible development as the northern boundary of a transpressional strike-slip duplex. *Geology*, 28: 255~258.
- Faure G. 1977. Principles of isotope geology . New York: John Wiley & Sons.
- Yin A and Harrison T M. 2000. Geologic Evolution of the Himalayan-Tibetan orogen. *J. Annu. Rev. Earth Planet. Sci.*, 28: 211~280.
- Zhang J X, Zhang Z M, Xu Z Q. 2001. Petrology and geochronology of eclogites from the western segment of the Altyn Tagh, northwestern China. *Lithos*, 56: 187~206.