文章编号:0258-7106 (2004) 04-0464-09

阿尔金山早古生代岩浆活动与金成矿作用*

杨 屹[1] 陈宣华[2] George Gehrels[3] 王小凤[2] 秦 红[4]
陈正乐[2] 杨 风[1] 陈柏林[2] 李学智[2]
(1 新疆地质调查院第一地质调查所,新疆 乌鲁木齐 830011;2 中国地质科学院地质力学研究所,北京 100081;
3 Department of Geosciences,University of Arizona,USA;4 中国地质大学地质实验中心,北京 100083)

摘 要 文章通过同位素稀释热电离质谱(ID-TIMS)锆石 U-Pb 法、Rb-Sr 等时线法和钾长石 $^{40}Ar/^{39}Ar$ 测年与 MDD 模拟得到的数据,分析了阿尔金山北缘地区花岗岩浆活动的主要时期、与阿尔金北缘大平沟金矿有关的花岗岩形成年龄、大平沟金矿可能的成矿时代以及剥露作用时代等问题,探讨了早古生代岩浆活动与金成矿作用之间的关系以及金矿床的剥露历史。Rb-Sr 等时线法给出大平沟金矿石英流体包裹体等时线年龄为(487 ±21) Ma,与阿尔金山早古生代岩浆活动的时代一致,代表了大平沟金矿床的成矿年龄。大平沟金矿的剥露作用发生在早侏罗世拉配泉断裂伸展作用时期。

关键词 地球化学 Rb-Sr 年代学 大平沟金矿床 阿尔金山
中图分类号:P597⁺.3;P618.51 **文献标识码**:A

近几年来,在青藏高原北部的阿尔金山地区陆续发现了大平沟、大平沟西、红柳沟、祥云、盘龙沟等金矿床和金矿点,其中大平沟金矿达到中型规模,为本区最具代表性的金矿床(杨风等,2001;杨屹等,2002;李学智等,2002;陈柏林等,2002;陈宣华等,2002a)。陈柏林等(2002)曾通过糜棱岩磁组构与金矿化关系的研究,对这些金矿床(点)作出了韧性剪切带成矿和控矿的解析。陈宣华等(2002a)根据金矿床地质特征以及与剥离断层的空间联系,认为大平沟金矿床的形成受剥离断层的控制。杨风等(2001)推测大平沟金矿床的成矿年龄应该在 200 Ma 左右,属印支期。

由于没有确凿的年龄数据,人们一直不能确定阿尔金北缘主要岩浆活动的时期。因此,虽然钾长花岗岩与金矿化可能具有密切的关系(陈宣华等,2002a),但是还难以肯定金矿床的形成时代。

本文利用石英流体包裹体 Rb-Sr 地质年代学,结合已有的同位素稀释热电离质谱(ID-TIMS)单颗粒锆石 U-Pb 法和钾长石 $^{40}Ar/^{39}Ar$ 测年及 MDD 模拟数据,分析了阿尔金山北缘地区花岗岩浆活动的主要时期、与阿尔金北缘大平沟金矿有关的花岗岩形成年龄、大平沟金矿可能的成矿时代以及剥露作用时代等问题,探讨了该地区早古生代岩浆活动与金矿成矿作用之间的关系以及金矿床剥露的可能历史。

1 地质背景

阿尔金山北缘地处中国西北巨型左行走滑断裂——阿尔金断裂的西北部,其北部由太古界麻粒岩和元古界片麻岩组成(图 1 中 Ar/Pt 部分)。南部出现元古界含叠层石沉积序列(图 1 中 Pt 部分),主要为厚层石英岩和硅质灰岩等。阿尔金北缘地区的中部则是早古生代拗拉槽建造(活动大陆边缘沉积),主要为奥陶系火山-沉积岩系(图 1 中 Pz 部分)。槽内发育有近东西向分布的基性-超基性岩带,构成阿尔金北部蛇绿混杂岩带,并有近东西向分布的中-酸性深成岩带侵入其中。本区晚古生代地层比较少。出露的泥盆系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(新疆维吾尔族自治区地质矿产局,1993)。

* 本文得到国家基础研究发展规划项目(编号 2001CB409808 和 01CB71100103)和国土资源大调查项目(编号 K1.1.2.3)的资助
第一作者简介 杨 屹,男,1968 年生,工程师,长期从事矿产资源评价及地球化学工作。E-mail:yy2004002@163.com
收稿日期 2003-12-04;改回日期 2004-03-03。李 岩编辑。

© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

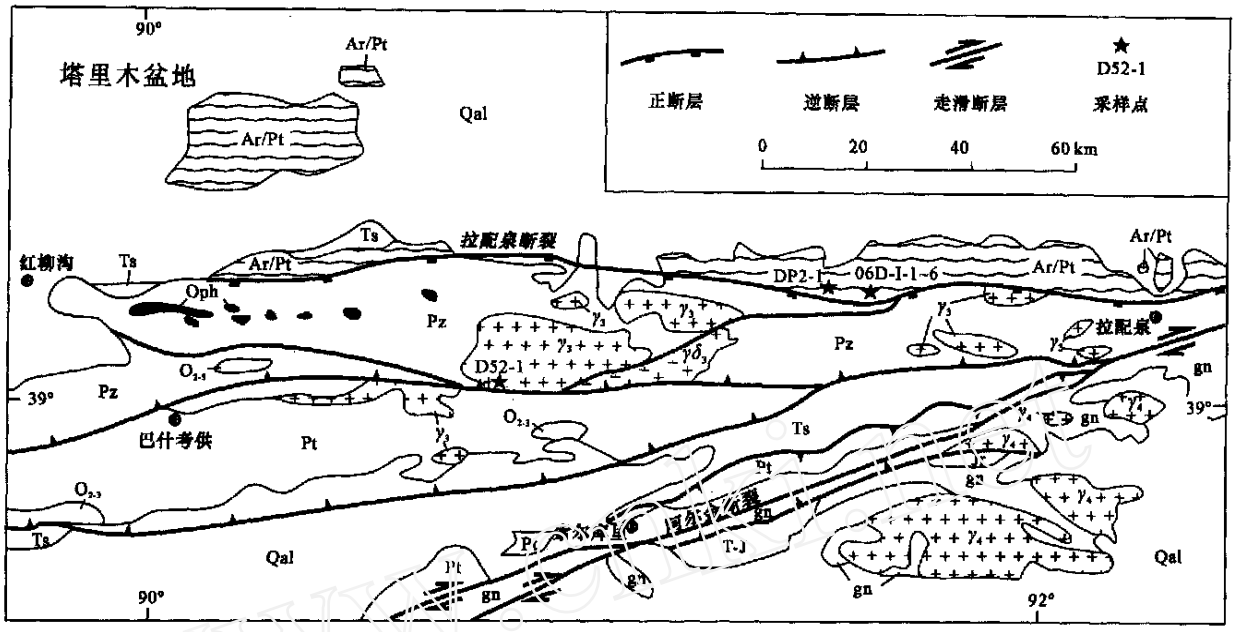


图 1　阿尔金北缘区域地质简图

图中给出了阔什布拉克斑状花岗岩(D52-1)、大平沟西花岗岩(DP2-1)和大平沟金矿(06D-I-1～6)采样点位置(修改自 Chen et al., 2003)。图中符号:Qal —第四纪冲积沉积;Ts —第三系红层,主要为晚始新世-早渐新世沉积;Jr —侏罗系;T-J —三叠系-侏罗系;Pz —早古生界火山-海相沉积岩系,主要为奥陶系和志留系;O_{2-3} —中-晚奥陶系灰岩和硬砂岩;Pt —拉配泉断裂上盘元古界含叠层石灰岩、大理岩、片岩和石英岩;Ar/ Pt —拉配泉断裂下盘太古界-元古界片麻岩,可能代表塔里木盆地的基底;γ_4 —晚古生代花岗岩类;γ_3 —早古生代花岗岩类;$\gamma\delta_3$ —早古生代花岗闪长岩类;gn —阿尔金断裂南侧长英质片麻岩;oph —蛇绿岩

Fig. 1　Geological map of the northern edge of Altun

Samplified localities for the Kuoshibulake porphyritic granite (D52-1), West Dapinggou granite (DP2-1), and Dapinggou gold deposit (06D-I-1 to 6) are shown on the map. Qal —Quaternary alluvial deposits; Ts —Tertiary red beds, mostly late Eocene to early Oligocene sediments; Jr —Jurassic strata; T-J —Triassic and Jurassic strata; Pz —Early Paleozoic volcanic and marine sedimentary rocks, most of them are Ordovician and Silurian; O_{2-3} —Middle and Late Ordovician limestones and graywackes; Pt —Proterozoic stramatolite-bearing limestones, marbles, schists and quartzites in the hangingwall of the Lapeiquan fault; Ar/ Pt —Archean-Proterozoic gneisses in the footwall of the Lapeiquan fault, most likely represent the basement of the Tarim basin; γ_4 —Late Paleozoic granites south of the Altun fault; γ_3 —Early Paleozoic granites; $\gamma\delta_3$ —Early Paleozoic granodiorites; gn —Quartzo-feldsparthic gneiss south of the Altun fault; oph —Ophiolites

阔什布拉克岩体(图 1 中部拉配泉断裂之南样品 D52-1 所在的 γ_3 岩体)是该带中面积最大的中-酸性深成岩,分布在阔什布拉克以北卡拉山至冰沟一带,沿贝克滩复背斜核部出露,呈不规则椭圆状展布,以较大岩基产出,出露面积近 600 km^2。岩体东部围岩捕虏体较多,其原岩多为砂岩,具角岩化、绿泥石化及混合岩化,捕虏体长轴方向多呈北东东向。

具有中生代伸展历史的拉配泉断裂(Chen et al., 2003;陈宣华等,2002b)将早古生代火山-沉积岩系、石炭系灰岩和页岩以及下-中侏罗统砾岩叠置在太古界麻粒岩和元古界片麻岩之上。断裂下盘岩石普遍发育挤压透镜体和片理化、糜棱岩化带。大平沟金矿床西花岗岩(图 1 中样品 DP2-1 所在的小岩体)就是拉配泉断裂下盘的一个碎裂化的富含钾长石的黑云母花岗岩。

大平沟金矿床(图 1 中样品 06D-I-1～6 位置)位于拉配泉断裂下盘岩石(Ar/ Pt)中,赋矿直接围岩为褐红色钾长变粒岩。金矿床由十余条含金石英脉组成,单脉长 50～200 m,具平行排列和分支复合特征。矿石具块状、网脉状和浸染状构造,主要为含金石英脉及含金蚀变岩。金的主成矿作用可划分为石英-黄铁矿阶段和石英-多金属硫化物阶段。氢氧同位素研究表明,大平沟金矿床成矿流体来源于岩浆水和变质水,有少量大气水参与,属中低温复成因热液型金矿床(杨风等,2001;李学智等,2002;陈宣华等,2002a)。

阿尔金北缘新生代最显著的变形构造以阿尔金走滑断裂以及被它切穿的几条 EW 走向第三纪逆冲

© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

断裂为特征(图 1;新疆维吾尔族自治区地质矿产局, 1993; Yin et al., 2000; 尹安, 2001; 陈宣华等, 2002b; Chen et al., 2003)。

2 研究方法与测试结果

2.1 ID-TIMS 锆石 U-Pb 年代学

ID-TIMS U-Pb 年代学锆石样品来自阔什布拉克岩体的中粒似斑状黑云母花岗岩(样品 D52-1,位置:39°00.825′N,90°43.601′E;见图 1)和大平沟西中粒黑云母花岗岩(样品 DP2-1,位置:39°08.939′N,91°23.104′E;见图 1)中。常规的 ID-TIMS 分析由 Gehrels 教授在美国亚利桑那大学(UA) U-Pb 实验室(超净化学实验室的组成部分)完成,实验流程详见 Gehrels(2000)的描述。测试结果见表 1 和图 2。

阔什布拉克黑云母花岗岩中结晶较好的6颗粒

表 1 D52-1、DP2-1 号样品 ID-TIMS 锆石 U-Pb 测试数据表

Table 1 ID-TIMS U-Pb Isotopic data and ages (Samples D52-1 and DP2-1)

颗粒序号	m/μg	Pb_c/pg	U/10^{-6}	$\frac{^{206}Pb_m}{^{204}Pb}$	$\frac{^{206}Pb_c}{^{208}Pb}$	同位素比值 $\frac{^{206}Pb^*}{^{238}U}$	同位素比值 $\frac{^{207}Pb^*}{^{235}U}$	t_a/Ma $\frac{^{206}Pb^*}{^{238}U}$	t_a/Ma $\frac{^{207}Pb^*}{^{235}U}$	t_a/Ma $\frac{^{207}Pb^*}{^{206}Pb^*}$
样品 D52-1										
1	0.029	76	174	737	6.3	0.059710 ±0.96%	0.45852 ±1.16%	373.9	383.2	440 ±14
2	0.031	80	540	2406	4.5	0.064573 ±0.67%	0.49417 ±0.94%	403.4	407.8	433 ±14
3	0.026	28	777	2928	4.0	0.063831 ±0.46%	0.48839 ±0.72%	398.9	403.8	432 ±12
4	0.032	38	587	1886	5.0	0.060554 ±0.72%	0.46491 ±1.09%	378.9	387.7	439 ±17
5	0.031	27	598	2621	6.0	0.060286 ±0.96%	0.46191 ±1.13%	377.4	385.6	435 ±13
6	0.028	145	683	588	4.5	0.071298 ±0.81%	0.54878 ±1.95%	443.9	444.2	445 ±37
样品 DP2-1										
1	0.001	35	199	121	2.2	0.028414 ±2.54%	0.21990 ±6.28%	180.6	201.8	457 ±120
2	0.002	14	325	247	2.3	0.077893 ±2.88%	0.61273 ±3.73%	483.5	485.3	494 ±51
3	0.003	8	144	293	4.9	0.077777 ±4.30%	0.59371 ±4.76%	482.8	473.2	427 ±46
4	0.002	13	160	149	3.9	0.078696 ±5.51%	0.61551 ±9.13%	488.3	487.0	481 ±160
5	0.001	30	167	119	2.0	0.028024 ±2.95%	0.20803 ±6.37%	178.2	191.9	364 ±120

由亚利桑那大学 U-Pb 实验室测定。$^{206}Pb_m/^{204}Pb$ 为实测值,未作背底、稀释剂和分馏校正;$^{206}Pb_c/^{208}Pb$ 已对背底、稀释剂和分馏作了校正。所有的精度处在 95%置信度水平。同位素比值的精度以百分比(%)计。 *表示校正后数据。

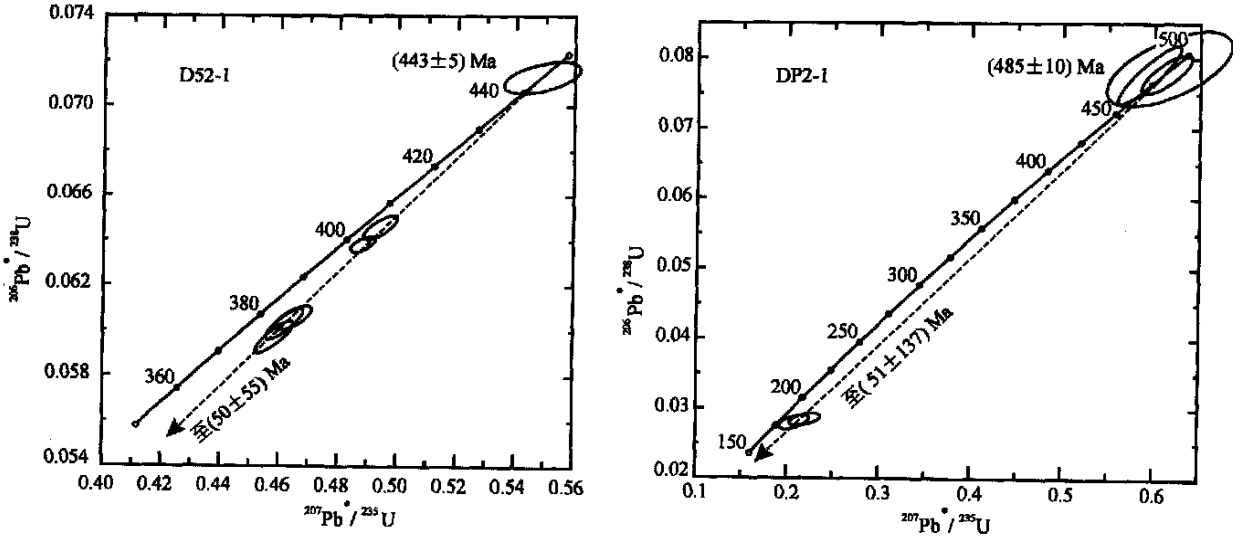


图 2 阔什布拉克斑状花岗岩(D52-1)和大平沟西黑云母花岗岩(DP2-1)锆石 U-Pb 年龄谐和图

Fig. 2 U-Pb concordia diagram for zircon from porphyritic granite of Kuoshibulake (D52-1) and biotite granite of west Dapinggou(DP2-1)

© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

径在 200 μm 左右的锆石,以及大平沟西黑云母花岗岩中 5 颗粒径在 60 μm 左右的锆石,其单颗粒 ID-TIMS U-Pb 地质年代学分析结果表示在图 2 中,它们在谐和图中均没有继承铅的显示。

结晶较好的锆石颗粒具有非常低的 U(Th)、Pb 扩散系数,在冷却速率为 1～10 ℃/Ma 的情况下,其矿物封闭温度在 900 ℃以上,是迄今为止所知道的具有最高封闭温度的矿物,因此被普遍用来确定岩浆岩的形成时间。阔什布拉克花岗岩的锆石年龄在谐和图(图 2 左)中给出,其中一粒锆石处在不一致线与一致线的上交点位置,年龄为(443 ±5) Ma。同时,有两粒锆石给出 400 Ma 左右(早泥盆世 Lochkovian 期)的不一致年龄,有 3 粒锆石给出 380 Ma 左右(晚泥盆世 Frasnian 期)的不一致年龄。U-Pb 谐和图中上交点年龄(443 ±5) Ma,代表了锆石的结晶年龄,说明该岩体侵入的最老年龄在奥陶纪 Caradoc 世和 Ashgill 世之间,为加里东旋回中晚期的产物。下交点年龄为(50 ±55) Ma,与 Pb 的丢失有关,年龄本身没有地质意义。

大平沟西黑云母花岗岩(图 2 右)有 3 粒锆石处在不一致线与一致线的上交点位置,构成 U-Pb 谐和年龄为(485 ±10) Ma,它处在奥陶纪 Arenig 世,为锆石结晶和花岗岩成岩年龄,代表了阿尔金北缘地区花岗岩岩体形成和侵入的最老年龄。同时,有两粒锆石给出 185 Ma 左右(早侏罗世 Toarcian 期)的不一致年龄,代表了后期 Pb 的丢失事件。下交点年龄为(51 ±137) Ma,与 Pb 的丢失有关,年龄本身没有地质意义。

各种地质作用中,锆石可能会发生蜕晶化作用而引起 Pb 的扩散丢失,或在变质和岩浆作用中形成增生锆石。蜕晶化作用、重结晶作用和混合增生作用使得对锆石 U-Pb 年龄的解释要非常慎重。谐和图中偏离一致线的锆石年龄,可能反映了在主期岩浆活动之后的 Pb 丢失事件。

2.2　含金石英脉流体包裹体的 Rb-Sr 地质年代学

Rb-Sr 地质年代学测年样品(见图 3 中 06D-I-1～6 位置)来自大平沟金矿 I 号矿体 60 m 中段含金-多金属硫化物石英脉。石英脉为与成矿同期的交代成因单脉,在其不同部位采集有代表性的石英样品 6 件。每件样品质量均在 10～15 kg 之间,主要由石英组成,含少量黄铁矿和绢云母等。石英中流体包裹体较发育,包裹体长轴长一般在 1～4 μm,部分 5～8 μm,个别为10～12 μm,以圆形、椭圆形为主,室温下

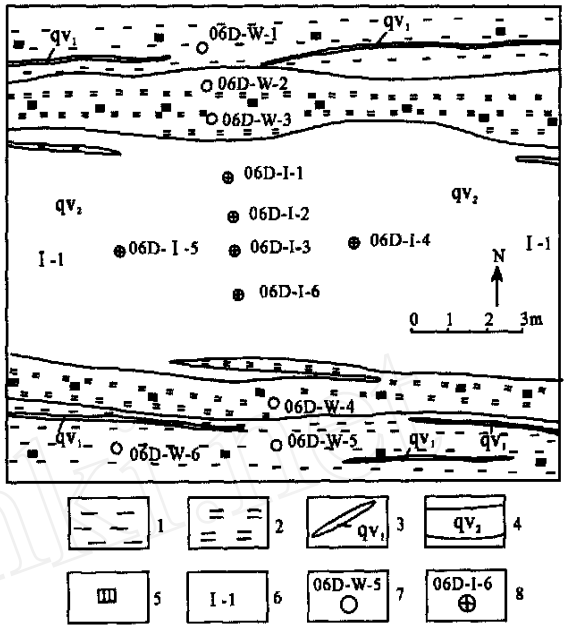


图 3　阿尔金大平沟金矿 I-1 号矿体 Rb-Sr 测年样品采样位置示意图

1—钾长变粒岩;2—片理化绢云-绿泥石蚀变带;3—早期石英脉;4—含金-多金属石英脉;5—黄铁矿化;6—Ⅰ号矿化带 1 号矿体;7—围岩全岩样(未分析);8—石英包裹体 Rb-Sr 测年样品及编号

Fig. 3　The sampling sketch map for Rb-Sr dating of orebody I-I in the Dapinggou gold mine of Altun

1—K-feldspar granulite; 2—Schistositized sericite-chlorite alteration zone; 3—Early stage quartz veinlet; 4—Auriferous polymetallic quartz vein; 5—Pyritization; 6—No. 1 orebody in No. I mineralized zone; 7—Whole rock sample for wall rock (not analyzed); 8—Rb-Sr dating sample of quartz inclusion and its serial number

为气液两相,气相百分数为 10 %～40 %,盐度 $w(NaCl_{eq})$ = 5.35 %,密度在 0.791～0.971 g/cm^3 之间,包裹体均一温度以 198～290 ℃为主(陈宣华等,2002a)。

样品破碎至粒径为 0.25～0.5 mm,在双目镜下仔细挑选出纯净石英,纯度达 99.9 %以上。将样品放入 1∶1 HCl 中煮沸约 60 min,以除去铁质及碳酸盐矿物,然后将 HCl 移去,加入纯净水冲洗数次至中性;再加入 1∶1 HNO_3,在低温电热板上煮沸 60 min,以除去黄铁矿等杂质矿物。在 140 ℃下采用热爆超声洗涤法去除次生包裹体,方法是先将用酸和纯水超声洗涤干净的矿物样品放入带盖的石英烧杯中,然后放入烘箱内,逐步升温至次生包裹体爆裂温度,停止升温,在恒温条件下,保持 30 min,使样品中所含次生包裹体爆裂完全,降至室温,在样品中注入适当的纯水,在超声条件下洗涤 5 min,移去洗涤液并测定其电导率,反复 4～5 次,直至最后一次洗涤液

© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

表 2 大平沟金矿含金石英流体包裹体 Rb-Sr 同位素分析数据

Table 2 Rb-Sr isotope data of auriferous quartz fluid inclusions in Dapinggou gold deposit

样品号	样品名称	$w_{Rb}/10^{-6}$	$w_{Sr}/10^{-6}$	$^{87}Rb/^{86}Sr$	$^{87}Sr/^{86}Sr(2\sigma)$
06D-1-1	含金-黄铁矿石英脉	0.9992	4.741	0.6081	0.71428 ±0.00002
06D-1-2	含金-黄铁矿石英脉	1.033	3.409	0.8745	0.71616 ±0.00002
06D-1-3	含金-黄铁矿石英脉	0.8605	5.115	0.4853	0.71349 ±0.00002
06D-1-4	含金-黄铁矿石英脉	1.047	4.605	0.6561	0.71461 ±0.00003
06D-1-5	含金-黄铁矿石英脉	0.9969	3.592	0.8007	0.71571 ±0.00001
06D-1-6	含金-黄铁矿石英脉	0.7511	3.421	0.6333	0.71448 ±0.00003

由宜昌地质矿产研究所同位素实验室测定。

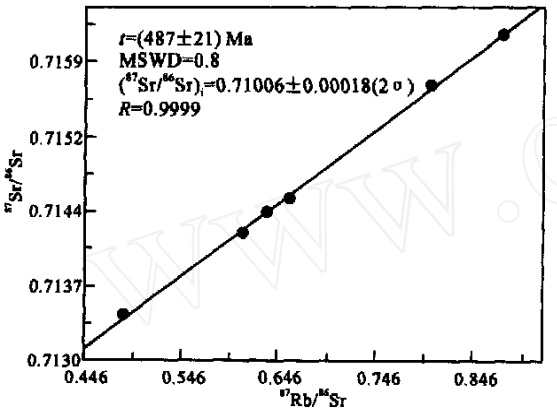


图 4 大平沟金矿床含金石英流体包裹体 Rb-Sr 等时线图解

Fig. 4 Rb-Sr isochron diagram of auriferous quartz fluid inclusions from Dapinggou in Altun

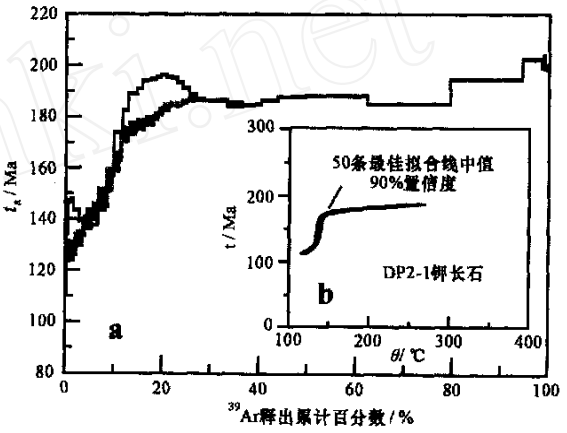


图 5 大平沟西花岗岩(DP2-1)钾长石阶段加热年龄谱(a)与冷却历史的 MDD 模拟(b)

数据来自 Chen et al., 2003;图形已重新表示

Fig. 5 K-feldspar incremental heating age spectrum of biotite granite(DP2-1) from West Dapinggou (a) and MDD simulation of cooling history(b)

的电导率接近于纯水的电导率为止。最终使用爆裂法打开包裹体,超声波提取-离心分离法获得包裹体样品。

在宜昌地质矿产研究所 MAT-261 可调多接收固体质谱仪上分析包裹体的 Rb-Sr 同位素组成。$^{87}Rb/^{86}Sr$ 同位素比值测定的相对偏差为 2 %,精度为 0.02 %。分析误差用 2σ 表示。制样和分析过程中对全流程本底进行了监控。为了降低流程本底,全部操作均在净化室内进行。用石英亚沸蒸馏器将电阻为 18 $\times10^6\ \Omega$ 的高纯水进一步纯化,其 Rb-Sr 空白含量为 2×10^{-12}。HCl、HNO_3 等试剂均为高纯无机酸,经石英亚沸蒸馏后,Rb-Sr 空白达 5×10^{-12}。整个流程空白经与样品平行测定多次,Rb 和 Sr 的含量均稳定在 2×10^{-12} 水平。

大平沟金矿床含金石英流体包裹体 Rb-Sr 同位素分析结果见表 2。根据 6 件石英流体包裹体样品的 Rb-Sr 同位素分析数据,采用国际通行的 ISOPLOT 程序进行数据处理,计算得到 Rb-Sr 等时线年龄为(487 ±21) Ma(见图 4),$^{87}Sr/^{86}Sr$ 初始值为 0.71006 ±0.00018(2σ),MSWD = 0.8。

2.3 钾长石 $^{40}Ar/^{39}Ar$ 定年和 MDD 模拟

$^{40}Ar/^{39}Ar$ 定年和 MDD 模拟的钾长石样品(DP2-1)来自大平沟西黑云母花岗岩(采样点位置见图 1)。实验在美国加州大学洛杉矶分校(UCLA)地球与空间科学系 $^{40}Ar/^{39}Ar$ 实验室完成,测试结果见表 3。

图 5 给出了该样品的阶段加热 ^{39}Ar 累计释放年龄谱和 MDD 模拟曲线(Lovera et al., 1989; 1997)。该年龄谱在 100～200 Ma 之间出现了明显的年龄梯度,并在大约 186 Ma 以上的高温阶段出现了较平的年龄谱(图 5a)。在应用 MDD 模拟方法时,忽略了中间年龄峰,它一般只影响年龄谱中大约 ^{39}Ar 累计释放量在 15 %～25 %之间的部分,使该部分偏离单调冷却过程。图5b中得到的热历史代表了50条最

© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表 3　大平沟西黑云母花岗岩(DP2-1)钾长石$^{40}Ar/^{39}Ar$测试数据

Table 3　$^{40}Ar/^{39}Ar$ dating data of K-feldspar from biotite granite (Sample DP2-1) at West Dapinggou

θ/℃	t/min	$^{40}Ar/^{39}Ar$	$^{38}Ar/^{39}Ar$	$^{37}Ar/^{39}Ar$	$^{36}Ar/^{39}Ar$	^{39}Ar/mol	$^{40}Ar^{*}$/%	$^{40}Ar^{*}/^{39}Ar_K$	年龄/Ma	±σ(总)
450	15	17.79	1.66E-01	1.56E-01	3.13E-02	1.53E-14	47.93	8.54	112.27	1.57
450	20	14.52	2.85E-02	5.97E-02	1.41E-02	7.85E-15	70.92	10.34	135.05	1.62
500	15	12.55	2.68E-02	8.36E-02	4.18E-03	2.16E-14	89.87	11.30	147.09	1.37
500	20	12.13	1.64E-02	3.91E-02	2.52E-03	1.72E-14	93.47	11.36	147.85	1.44
550	15	11.34	1.60E-02	4.97E-02	1.07E-03	4.33E-14	96.92	11.00	143.42	1.36
550	20	10.97	1.32E-02	5.87E-02	8.53E-04	3.14E-14	97.38	10.70	139.60	1.36
600	15	10.69	1.35E-02	8.94E-02	5.73E-04	6.51E-14	98.18	10.50	137.15	1.24
600	20	10.73	1.29E-02	7.74E-02	5.61E-04	4.34E-14	98.17	10.54	137.66	1.24
650	15	11.30	1.33E-02	9.61E-02	5.20E-04	7.43E-14	98.38	11.13	145.04	1.31
650	20	12.26	1.24E-02	7.46E-02	4.34E-04	4.25E-14	98.71	12.11	157.25	1.44
700	15	13.55	1.27E-02	4.70E-02	2.80E-04	6.62E-14	99.13	13.45	173.82	1.56
700	20	14.27	1.21E-02	1.45E-02	2.62E-04	4.18E-14	99.21	14.17	182.62	1.67
750	15	14.78	1.28E-02	1.79E-02	2.34E-04	6.59E-14	99.28	14.69	189.05	1.69
750	20	14.96	1.22E-02	1.38E-02	2.78E-04	4.31E-14	99.22	14.86	191.08	1.70
800	15	15.20	1.24E-02	1.72E-02	2.00E-04	6.13E-14	99.35	15.12	194.26	1.74
800	20	15.24	1.22E-02	6.26E-03	2.36E-04	4.14E-14	99.30	15.15	194.63	1.79
825	15	15.33	1.22E-02	1.19E-02	2.20E-04	3.42E-14	99.32	15.24	195.72	1.75
850	15	15.38	1.23E-02	1.12E-02	1.85E-04	3.98E-14	99.41	15.30	196.46	1.76
875	15	15.36	1.24E-02	2.35E-02	3.40E-04	3.98E-14	99.11	15.23	195.67	1.79
900	15	15.33	1.20E-02	1.50E-02	3.55E-04	4.14E-14	99.08	15.21	195.32	1.76
925	15	15.21	1.25E-02	1.83E-02	4.13E-04	4.30E-14	98.97	15.06	193.59	1.78
950	15	15.04	1.26E-02	1.51E-02	4.68E-04	4.86E-14	98.85	14.87	191.29	1.70
975	15	14.82	1.25E-02	2.84E-03	4.39E-04	5.33E-14	98.83	14.66	188.68	1.70
1000	15	14.69	1.21E-02	1.32E-02	5.54E-04	6.44E-14	98.62	14.50	186.73	1.71
1025	15	14.72	1.22E-02	1.39E-02	6.86E-04	7.65E-14	98.37	14.49	186.59	1.67
1050	15	14.73	1.26E-02	1.66E-02	7.36E-04	9.19E-14	98.29	14.49	186.57	1.72
1075	15	14.67	1.22E-02	1.56E-02	9.69E-04	1.14E-13	97.78	14.36	185.01	2.00
1100	15	14.73	1.25E-02	1.56E-02	1.23E-03	1.43E-13	97.29	14.34	184.75	1.66
1100	20	14.89	1.23E-02	-4.13E-03	1.29E-03	1.23E-13	97.17	14.48	186.45	1.67
1100	60	14.93	1.24E-02	8.35E-04	1.04E-03	2.10E-13	97.69	14.60	187.89	1.67
1100	420	15.03	1.24E-02	1.62E-04	1.26E-03	4.60E-13	97.29	14.64	188.39	1.70
1200	15	14.63	1.21E-02	-3.29E-03	8.22E-04	6.26E-13	98.09	14.36	185.03	1.65
1233	15	15.38	1.24E-02	-2.85E-04	6.81E-04	5.49E-13	98.44	15.16	194.74	1.74
1266	15	16.06	1.20E-02	2.40E-03	7.86E-04	1.39E-13	98.30	15.81	202.61	1.85
1300	15	16.20	1.23E-02	-6.91E-04	2.09E-03	2.05E-14	95.86	15.56	199.61	1.84
1350	15	17.96	1.26E-02	-5.12E-03	7.11E-03	6.16E-15	87.74	15.83	202.95	2.37
1650	15	22.64	1.66E-02	6.59E-03	2.39E-02	3.40E-14	68.59	15.54	199.40	1.95

由 UCLA 地球与空间科学系$^{40}Ar/^{39}Ar$实验室测定。其中 t 为处于阶段温度下加热的时间。$^{40}Ar^{*}$表示校正后用于计算年龄的数据,$^{39}Ar_K$表示由^{39}K转化而来的^{39}Ar。误差采用分析计算的总误差: ±σ(总)。

佳拟合线平均值的 90 %可信区间。根据 MDD 模拟结果,可以认为该样品在 200～185 Ma 之间经历了快速冷却过程,从 300 ℃左右快速冷却至 150 ℃以下。而从 185 Ma 到 100 Ma 的其余 85 Ma 时间里,该样品经历了上地壳层次的缓慢冷却过程。

3　讨　论

3.1　阿尔金山北缘早古生代岩浆弧的形成时代

阔什布拉克黑云母花岗岩岩体是阿尔金山北缘地区规模最大的深成岩岩体,它的锆石结晶年龄为(443 ±5) Ma,与阿尔金地区深成岩侵入活动的峰期年龄(陈宣华等,2002c)一致,说明该地区东西向分布的花岗岩类主要形成于奥陶纪,属于早古生代岩浆活动。大平沟西黑云母花岗岩中锆石 U-Pb 年龄(485 ±10) Ma,代表了这一期岩浆活动早期的产物,由于南倾的拉配泉断裂的断裂活动而被带到地表。

新疆维吾尔族自治区地质矿产局(1981)❶根据侵入岩特征及与地层的接触关系,将阔什布拉克岩体划归为晚元古代中期第四次侵入的斑状黑云母花岗岩和似斑状黑云母斜长花岗岩,并认为阿尔金山

❶ 新疆维吾尔族自治区地质矿产局. 1981. 巴什考供幅(J-46-Ⅶ)和索尔库里幅(J-46-Ⅷ)区域地质调查报告.

© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

北缘地区主要的岩浆活动在晚元古代。崔军文等(1999)在讨论北阿尔金古生代蛇绿岩带的时候,延用了上述观点,将该岩体划归为 γ_2。本文根据 ID-TIMS 锆石 U-Pb 测年结果,对这一观点进行了修正,并认为,该地区花岗岩类主要为早古生代岩浆活动的产物。

阿尔金山北缘下古生界地层主要由大量的枕状熔岩、硅质岩、灰岩和厚层浊积岩组成,可能存在一个早古生代的"阿尔金洋"(陈宣华等,2001)。深成岩侵入到早古生代岛弧型的火山-沉积岩系中,可能是早古生代岩浆弧的根。由于阔什布拉克岩体和大平沟西花岗岩给出了非继承性 U-Pb 年龄数据,因此,早古生代岩浆弧并不是建立在前寒武纪大陆壳之上的。地质和同位素年代学证据都支持存在一个南倾的大陆边缘俯冲带。

前人在阿尔金地区曾取得过一些年龄数据,如红柳沟—拉配泉和阿帕—茫崖两个蛇绿混杂岩带中玄武岩 Sm-Nd 等时线年龄〔分别为(508.3 ±41) Ma～(524.4 ±44) Ma 和(481.3 ±53) Ma;Liu et al.,1998;刘良等,1999〕,阿尔金西段榴辉岩年龄〔Sm-Nd 等时线年龄,(500 ±10) Ma;锆石 U-Pb 年龄,(503.9 ±5.3) Ma;Zhang et al.,2001〕以及且末县南角闪质糜棱岩年龄〔Sm-Nd 等时线,(519 ±37.3) Ma;Liu et al.,1997〕。与它们相比,阔什布拉克岩体的年龄数据比较年轻,说明了岩浆弧可能是在板块俯冲发生高压变质作用之后形成的。

阔什布拉克岩体与阿尔金断裂南东侧柴北缘的柴达木山花岗岩(SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄为 446 Ma;吴才来等,2001)的形成时代相当,且均为以似斑状花岗岩为主的岩基。因此,阿尔金断裂两侧的阿尔金山和柴达木山可能具有相似的早古生代构造环境和深成岩活动历史。

3.2 大平沟金矿成矿时代和成矿物质来源

石英流体包裹体是矿物形成过程中捕获且封闭在主矿物内的成矿介质,具有良好的机械强度、高的化学纯度、较好的热稳定性和后生变化微弱等特点,是应用 Rb-Sr 地质年代学直接测定成矿作用时代的理想对象。同时,锶同位素作为一个有效的"示踪剂"已被广泛地用于研究矿床物质来源和矿床成因,获得的 $^{87}Sr/^{86}Sr$ 初始值是一个十分重要的地球化学参数,对于解决成矿物质来源等诸多地质问题具有十分重要的意义。

阿尔金山北缘大平沟金矿床含金石英脉流体包裹体 Rb-Sr 等时线年龄为(487 ±21) Ma。6 组数据确定的 Rb-Sr 等时线具有良好的线性关系,相关系数为 0.9999。这说明,成矿流体中的同位素可能达到均一化,自石英矿物形成以来流体包裹体中 Rb-Sr 体系保持封闭,因此,该等时线年龄的地质意义比较明确,它代表了主成矿期成矿流体热液活动的时代,其成矿时代在早古生代。

大平沟金矿区发育的钾长石化带,在空间上和成分上都与富含钾长石的黑云母花岗岩有着紧密联系,而金矿化又与钾化具有密切的成因联系(陈宣华等,2002a)。含金石英脉流体包裹体 Rb-Sr 等时线年龄〔(487 ±21) Ma〕与其西部黑云母花岗岩锆石 U-Pb 年龄〔(485 ±10) Ma〕接近,也说明了花岗岩浆活动与金矿化的密切关系。含金石英脉流体包裹体的初始 $^{87}Sr/^{86}Sr$ 值为 0.71006 ±0.00018(2σ),与阿尔金山地区同时代的苏吾·什杰岩体花岗岩〔Rb-Sr 等时线年龄为(491.3 ±4.6) Ma;崔军文等,1999〕的初始 $^{87}Sr/^{86}Sr$ 值(0.7117 ±0.0001)相当,表明大平沟金矿床的形成与本区早古生代构造岩浆热事件有关,成矿物质可能来源于该期花岗岩浆。

3.3 中生代伸展构造与大平沟金矿床的剥露作用

大平沟金矿床处在拉配泉断裂的下盘,具有受剥离断层控制的金属矿床特点(陈宣华等,2002a)。虽然本文提供的数据说明,大平沟金矿床可能形成于早古生代花岗岩岩浆活动的同时,但是,金矿床却是在中生代拉配泉断裂伸展作用过程中随着地块的不断抬升而剥露的,并最终出露地表。拉配泉断裂的活动十分有利于成矿物质沿着断裂形成的剪切带及其与北西西向断裂的交汇部位聚集成矿(陈正乐等,2002;王小凤等,2001)。阿尔金山北缘中生代伸展构造的发育可能具有弧后盆地的背景,主要受特提斯洋的俯冲作用控制(陈宣华等,2002b)。

4 结 论

本文根据 Rb-Sr 地质年代学分析,得到阿尔金山北缘大平沟金矿床的形成时代为(487 ±21) Ma。通过与已有的花岗岩中锆石 U-Pb 年龄的对比,可以认为它与该地区早古生代岩浆活动早期阶段的年龄相一致。中生代伸展构造(200～185 Ma)导致了该地区金矿床的快速抬升与剥露作用,使之成为接近地表的可采地质体。

致 谢 感谢宜昌地质矿产研究所李华芹研究

© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

员在 Rb-Sr 地质年代学研究方面的帮助。

References

Chen B L, Chen X H, Wang X F, et al. 2002. Analysis of ore-controlling structure of ductile shear zone type gold deposits in the Northern Altun area, Northwestern China [J]. Acta Geologica Sinica, 76(2): 235～243 (in Chinese with English abstract).

Chen X H, Wang X F, Yang F, et al. 2001. Tectonic environments of magmatism in Early Paleozoic in the north Altyn Tagh, China[J]. J. Geomechanics, 7(3): 193～200 (in Chinese with English abstract).

Chen X H, Yang F, Wang X F, et al. 2002a. Detachment and gold deposit in north Altyn Tagh —an example study of Dapinggou gold deposit[J]. J. Jilin Univ. (Earth Science Edition), 32(2): 122～127 (in Chinese with English abstract).

Chen X H, Yin A, Gehrels G, et al. 2002b. Mesozoic extension in northern Tibetan plateau: $^{40}Ar/^{39}Ar$ analyses and MDD modeling [J]. Acta Geoscientia Sinica, 23(4): 305～310 (in Chinese with English abstract).

Chen X H, Yin A, Gao J, et al. 2002c. Preliminary study on regional thermal history in the Altun region[J]. Geol. Rev., 48(Supp): 146～152 (in Chinese with English abstract).

Chen X H, Yin A, Gehrels G E, et al. 2003. Two phases of Mesozoic north-south extension in the eastern Altyn Tagh range, northern Tibetan plateau[J]. Tectonics, 22 (5): 1053.

Chen Z L, Chen X H, Wang X F, et al. 2002. Study on the tectonics stress field in the Altyn Tagh area and its controlling to the distribution of metal deposits[J]. Geol. & Prospecting, 38(5): 18～23 (in Chinese with English abstract).

Cui J W, Tang Z M, Deng J F, et al. 1999. Altun fault system[M]. Beijing: Geol. Pub. House (in Chinese with English abstract).

Gehrels G E. 2000. Introduction to detrital zircon studies of Paleozoic and Triassic strata in western Nevada and northern California[A]. In: Soreghan M J and Gehrels G E, ed. Paleozoic and Triassic Paleogeography and Tectonics of Western Nevada and Northern California[C]. Geol. Soc. Am. Spec. Pap., 347: 1～17.

Li X Z, Chen B L, Chen X H, et al. 2002. Ore features and gold occurrence of the Dapinggou gold deposit, Xinjiang, northwest China [J]. Geol. & Prospecting, 38(5): 49～53 (in Chinese with English abstract).

Liu L, Che Z, Luo J, et al. 1997. Recognition and implication of eclogite in the western Altun Moutain, Xinjiang[J]. Chinese Sci. Bull., 42(11): 931～934.

Liu L, Che Z C, Wang Y, et al. 1998. The evidences of Sm-Nd isochron age for the early Paleozoic ophiolite in Mangya area, Altun Mountain[J]. Chinese Sci. Bull., 43(9): 754～756.

Liu L, Che Z C, Wang Y, et al. 1999. The petrological characters and geotectonic setting of high-pressure metamorphic rock belts in Altun Mountains[J]. Acta Petrologica Sinica, 15(1): 57～64 (in Chinese with English abstract).

Lovera O M, Richter F and Harrison T M. 1989. Diffusion domains determined by ^{39}Ar released during step heating[J]. J. Geophy. Res., 96: 2057～2069.

Lovera O M, Grove M, Harrison T M, et al. 1997. Systematic analysis of K-feldspar $^{40}Ar/^{39}Ar$ step-heating experiments I: Significance of activation energy determinations[J]. Geochim. Cosmochim. Acta, 61: 3171～3192.

Wang X F, Chen X H, Chen Z L, et al. 2001. Cu-Au enrichment and mineraliztion in Altyn Tagh[J]. J. Geomechanics, 7(3): 201～207 (in Chinese with English abstract).

Wu C L, Yang J S, Wooden J, et al. 2001. SHRIMP dating of zircons from Qaidam Mountain granite[J]. Chinese Sci. Bull., 46(20): 1743～1747 (in Chinese).

Xinjiang Bureau of Geology and Mineral Resources. 1993. Regional geology of the Xinjiang Uygur Autonomous Region[J]. Beijing: Geol. Pub. House (in Chinese with English abstract).

Yang F, Chen B L, Chen X H, et al. 2001. A discussion on the genesis of Dapinggou gold deposit of Xinjiang, northwest China[J]. Geol. & Resources, 10(3): 133～138 (in Chinese with English abstract).

Yang Y, Yang F, Liu X Y, et al. 2002. Geological features and origin of Dapingou gold deposit Altun area[J]. Xinjiang Geol., 20(1): 44～48 (in Chinese with English abstract).

Yin A and Harrison T M. 2000. Geologic evolution of the Himalayan-Tibetan orogen[J]. J. Annu. Rev. Earth Planet. Sci., 28: 211～280.

Yin A. 2001. Geologic evolution of the Himalayan-Tibetan orogen in the context of Phanerozoic continental growth of Asia [J]. Acta Geoscientia Sinica, 22(3): 193～230 (in Chinese with English abstract).

Zhang J X, Zhang Z M, Xu Z Q, et al. 2001. Petrology and geochronology of eclogites from the western segment of the Altyn Tagh, northwestern China[J]. Lithos, 56: 187～206.

附中文参考文献

陈柏林, 陈宣华, 王小凤, 等. 2002. 阿尔金北缘地区韧性剪切带型金矿床构造控矿解析[J]. 地质学报, 76(2): 235～243.

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[J]. 地质力学学报, 7(3): 193～200.

陈宣华, 杨　风, 王小凤, 等. 2002a. 阿尔金北缘地区剥离断层控矿和金矿成因 ——以大平沟金矿床为例[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 32(2): 122～127.

陈宣华, 尹　安, Gehrels G, 等. 2002b. 青藏高原北缘中生代伸展构造$^{40}Ar/^{39}Ar$ 测年和 MDD 模拟[J]. 地球学报, 23(4): 305～310.

陈宣华, 尹　安, 高　荐, 等. 2002c. 阿尔金山区域热演化历史的初步研究[J]. 地质论评, 48(增刊):146～152.

陈正乐, 陈宣华, 王小凤, 等. 2002. 阿尔金地区构造应力场及其对金属矿产分布的控制作用[J]. 地质与勘探, 38(5): 18～23.

崔军文, 唐哲民, 邓晋福, 等. 1999. 阿尔金断裂系[M]. 北京: 地质

© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

出版社.
李学智, 陈柏林, 陈宣华, 等. 2002. 大平沟金矿床矿石特征与金的赋存状态[J]. 地质与勘探, 38(5): 49～53.
刘 良, 车自成, 王 焰, 等. 1999. 阿尔金高压变质岩带的特征及其构造意义[J]. 岩石学报, 15(1): 57～64.
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[J]. 地质力学学报, 7(3): 201～207.
吴才来, 杨经绥, Wooden J, 等. 2001. 柴达木山花岗岩锆石 SHRIMP 定年[J]. 科学通报, 46(20): 1743～1747.
新疆维吾尔族自治区地质矿产局. 1993. 新疆维吾尔自治区区域地质志[M]. 北京: 地质出版社.
杨 风, 陈柏林, 陈宣华, 等. 2001. 阿尔金北缘大平沟金矿床成因初探[J]. 地质与资源, 10(3): 133～138.
杨 屹, 杨 风, 刘新营, 等. 2002. 阿尔金大平沟金矿床地质特征及成因初探[J]. 新疆地质, 20(1): 44～48.
尹 安. 2001. 喜马拉雅-青藏高原造山带地质演化 ——显生宙亚洲大陆生长[J]. 地球学报, 22(3): 193～230.

Early Paleozoic Magmatism and Gold Metallogenesis in Altun Mountains, Northwest China

Yang Yi[1], Chen Xuanhua[2], George Gehrels[3], Wang Xiaofeng[1], Qin Hong[4], Chen Zhengle[1], Yang Feng[3], Chen Bailin[1] and Li Xuezhi[3]

(1 Xinjiang Geological Survey, Urumqi 830011, Xinjiang, China; 2 Institute of Geomechanics, CAGS, Beijing 100081, China; 3 Department of Geosciences, University of Arizona, USA; 4 Geological Lab. Centre, China University of Geosciences, Beijing 100083, China)

Abstract

The relationship between granitic magmatism and gold mineralization and the exhumation history of the Dapinggou gold deposit in northern Altun Mountains of Northwest China are discussed in this paper based on such geochronological data as zircon U-Pb ages, Rb-Sr isochron ages, $^{40}Ar/^{39}Ar$ dating and MDD modeling data. The Rb-Sr isochron age 〔(487 ±21) Ma〕 of 6 quartz inclusion samples from quartz veins in this gold deposit is very close to the age of West Dapinggou granite dated before. According to the age data and the geological setting of this area, the authors conclude that the Dapinggou gold deposit was formed at the early stage of the Early Paleozoic granitic magmatism in northern Altun Mountains and exhumed in Early Jurassic due to the normal faulting of Lapeiquan detachment. The Early Paleozoic magmatism might have provided heat source and produced geological fluid, which was very important for the gold mineralization. The exhumation process in Mesozoic made the gold deposit uplifted to a near-surface position.

Key words: geochemistry, Rb-Sr chronology, Dapinggou gold deposit, Altun Mountains

© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net