

新疆东天山红山金矿成矿时代研究

陈 文¹ 张 彦¹ 赵海滨² 韩 丹³ 王成玉³

(1. 国土资源部同位素地质重点实验室 Ar-Ar 年代学实验室, 中国地质科学院地质研究所, 北京 100037;
2. 武警黄金第八支队, 新疆 乌鲁木齐 830057; 3. 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037)

摘要:红山金矿区位于秋格明塔什—黄山韧性剪切带东段北缘, 矿床成因研究表明, 红山金矿的形成严格受该韧性剪切带控制, 属于与韧性剪切带有关的糜棱岩型、超糜棱岩型矿床。花岗质糜棱岩中角闪石 276.3 Ma 的 Ar-Ar 坪年龄给出了红山金矿床成矿事件的时代上限。金矿石样品中绢云母 246.9 Ma 和 246.5 Ma 的 Ar-Ar 坪年龄记录了金矿床主成矿期的时代。糜棱岩中新生白云母 246.5 Ma 的 Ar-Ar 坪年龄, 在误差范围内和金矿石样品中绢云母的 Ar-Ar 坪年龄完全一致, 不仅为红山金矿床的剪切带型成因提供了进一步的佐证, 也对金成矿时代给予了进一步的限定。

关键词:成矿时代; Ar-Ar 年龄; 糜棱岩型金矿; 韧性剪切带; 新疆

中图分类号: P618.51 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3657(2006)03-0632-09

东天山造山带是晚古生代板块俯冲—碰撞的产物, 是中亚造山带的重要组成部分, 同时也是一条重要的铜、镍、金等多金属成矿带^[1-24]。东天山造山带内发育一条重要的变形带——秋格明塔什—黄山巨型韧性剪切带, 该带内已发现了众多的大中小型铁、铜、镍、金等矿床, 其中典型的糜棱岩型金矿床——红山金矿床即位于该韧性剪切带东段北缘。关于红山糜棱岩型金矿床地质特征及成矿条件, 前人已经做了详细研究^[25], 但关于该矿床的成矿时代, 却始终没有见到可信的年龄数据报道。本文通过对红山金矿床中金矿石和容矿韧性剪切带中的糜棱岩进行 ⁴⁰Ar/³⁹Ar 同位素测年, 初步确定了该金矿床的成矿作用时代及成矿和剪切变形作用之间的时间耦合关系。

1 地质背景

红山金矿区大地构造位置属天山槽北天山地向斜褶皱带^[26]。区内出露地层主要由石炭纪和第四纪岩石组成(图 1)。下石炭统干墩群(*C_{1gn}*)分布于区内南部, 为正常海相沉积, 少量火山岩建造。岩性主要为硅质岩、硅质凝灰岩、砂岩、石英岩、浅粒岩、片岩、千枚岩夹灰岩、细碧岩等。中石炭统梧

桐窝子群(*C_{2wt}*)分布于区内中南部, 为海相火山岩建造, 主要有凝灰岩、安山岩、硅质岩、玄武岩、砂岩夹灰岩、砾岩等。第四纪砾石层主要由花岗岩、闪长岩、脉岩及石英脉砾石层和卵石等组成^[27]。

红山金矿区岩浆岩以深成侵入岩、喷出岩为主。华力西中期第 1 次侵入呈岩枝、岩株状产出, 岩性为闪长岩、辉绿岩, 岩体侵入最新地层为中石炭统梧桐窝子群并被花岗岩所贯穿。第 2 次侵入为岩基、岩枝, 分布范围广, 规模大。主要岩性有浅肉红色和灰红色花岗岩、黑云母花岗岩、角闪黑云母花岗岩等, 侵入最新地层为中石炭统, 与围岩界线清楚, 接触带多为混染岩。第 3 次侵入以岩株、岩枝状零星出露, 分布范围不广, 规模亦小。岩性有肉红色正长花岗岩和正长岩, 侵入最新地层为中石炭统, 与角闪黑云母花岗岩和花岗闪长岩呈侵入接触。此外, 在矿区外围华力西晚期发生 2 次岩浆侵入, 其分布范围和规模都不大, 岩性为灰黑色橄辉岩及黑云母花岗岩等。

康古尔塔格深大断裂东段横贯红山矿区, 呈近 EW 向展布, 向东延至邻区, 西部为第四系覆盖。发育与主断裂呈叉状的次级断裂, 造成部分侵入岩与地层呈断裂接触。沿断裂分布的岩石均为角砾状或断层角砾岩, 断裂张裂隙中多被石英

收稿日期: 2006-05-18; 改回日期: 2006-05-25

基金项目: 国家重点基础研究发展规划项目(2001CB409807)、国家自然科学基金项目(49973003)和中国地质调查局地质大调查项目(2000020190118)资助。

作者简介: 陈文, 男, 1962 年生, 博士, 研究员, 主要从事同位素地质年代学研究工作; E-mail: chenwenf@vip.sina.com。

脉充填,硅化强烈。此外,有 3 条 SN 向的次级构造错断了康古尔塔格断裂,其中 F1、F2 为平推正断层,F3 为平推逆断层。沿康古尔塔格断裂带分布的金矿床较多,呈似串珠状成群出现。其中与韧性剪切带有关的糜棱岩型金矿床已发现多处,已经开采的金矿有康古尔、马头滩、红石、红山金矿等。

2 矿床地质

2.1 主要矿脉

红山金矿区石英脉成群出现,均受韧性、脆-韧性剪切带及次级构造破碎带控制,已发现石英脉 143 条,其中 11 及 12 号脉具有工业价值^[9]。

11 号脉位于区内西段北缘(图 1),产于华力西中期闪长岩与中石炭统梧桐窝子群接触部位,为一条受韧性剪切带控制的糜棱岩、超糜棱岩、千糜岩及千枚岩破碎带,长 5.5 km,宽 50~60 m。糜棱面理大部分 S 倾,局部 N 倾,倾角 80~89°。该脉带早期受张性应力作用,残留的石英碎块,残斑表明石英脉经历过脆性变形阶段,糜棱岩及超糜棱岩的形成即是由石英脉经过多次构造变形的结果。晚期呈现多次压、压扭性特征,变形多为塑性。经多期次压性及压扭性应力的反复推挤,石英脉逐步被碎裂、磨碎,并出现动态重结晶的细微亚晶

粒及静态恢复形成的微晶石英,形成密集的糜棱面理、叶理、条纹等强烈韧性流。构造热液活动使围岩中的成矿物质活化运移到糜棱岩的有利位置沉淀成矿,黄铁矿多沿糜棱面理分布,偶见明金,显微镜下金矿物有时成群分布,在矿脉及围岩中可见少量黄铜矿,与金的富集成矿也有密切关系。

12 号脉带位于 11 号脉东南部(图 1),为糜棱岩化石英脉型,断续分布于华力西中期碎裂花岗岩张性裂隙中。与碎裂花岗岩、碎裂闪长岩形成一条长大于 2.4 km,宽 1~11 m,呈 EW 向延伸的破碎带,破碎带中糜棱岩化石英脉的厚度变化幅度为 0.3~3 m。在多期次构造应力作用下石英脉及围岩受到反复挤压出现糜棱岩化,形成构造岩和糜棱岩。根据石英脉受力性质、变形特征及矿化蚀变程度把石英分为 3 期:早期为粗粒块状充填于花岗岩张性裂隙中,呈脆性变形,伴有大量碎块、角砾,充填物为碎裂的石英,上下盘可见断层泥,含矿热液沿围岩裂隙向石英碎裂处运移,出现绢云母化^[9],并有微量微粒黄铁矿及自然金开始形成。中期石英受压及压扭性应力作用,出现脆-韧性变形,石英多被压扁、拉长呈定向排列,出现动态重结晶亚晶粒及动态恢复的微晶石英。含矿热液和动力变质热液相互作用,使围岩中的含矿物质活化,并萃取了围岩中大量的含矿物质,不断向糜棱岩化石英脉、

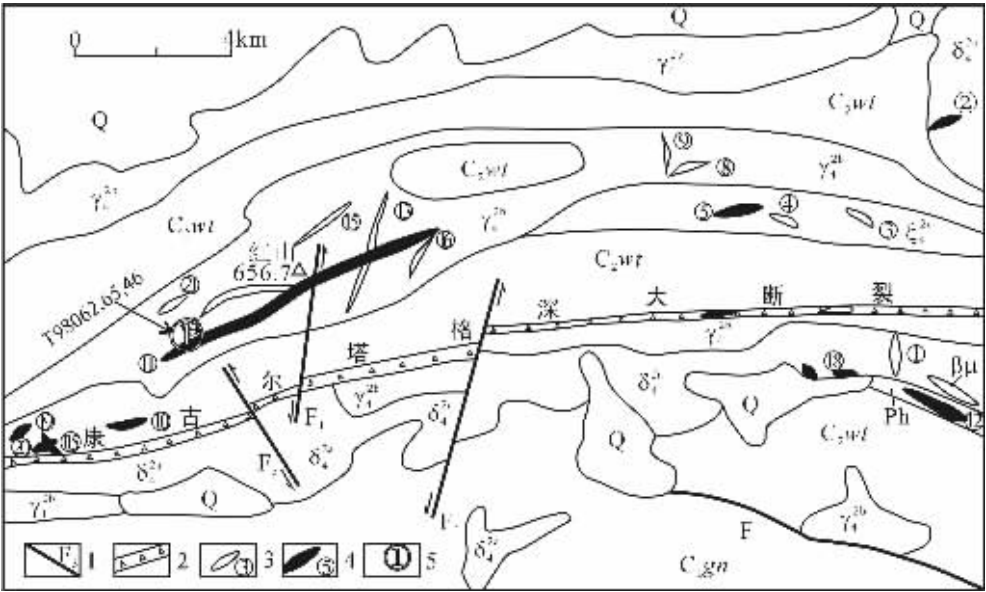


图 1 红山矿区地质图及同位素测年采样点^[19]

Q—第四系;C₂wt—中石炭统梧桐窝子群凝灰岩、安山岩,C₁gn—下石炭统干墩群硅质岩、细砂岩;Ph—糜棱岩化千枚岩;ξ₄^{2c},γ₄^{2b},δ₄^{2a}—华力西期正长岩,花岗岩,闪长岩;βμ—辉绿岩;1—断层;2—区域大断裂;3—石英脉及编号;4—含金矿脉及编号;5—Ar-Ar 同位素测年采样点

Fig. 1 Geological map of the Hongshan gold deposit and sampling location for Ar-Ar dating^[19]

Q—Quaternary;C₂wt—Middle Carboniferous Wutongwozi Group tuff and andesite;C₁gn—Lower Carboniferous Gandun Group chert and fine sandstone;Ph—Mylonitized phyllite;ξ₄^{2c},γ₄^{2b},δ₄^{2a}—Variscan syenite, granite and diorite;βμ—Diabase. 1—Fault;2—Regional fault;3—Quartz veins and No.;4—Gold-bearing vein and No.;5—Sampling location for Ar-Ar dating

糜棱岩运移, 沿其裂隙及糜棱面理沉淀形成微量微粒的闪锌矿、黄铜矿、黄铁矿和自然金, 局部可见方铅矿富集。晚期石英为微粒状, 多呈细脉、网脉、微脉状充填于早和中期石英裂隙及微裂隙中, 并出现部分碳酸盐及铁碳酸盐矿物, 以石英+方解石细脉或方解石+石英细脉、铁碳酸盐细脉及团块状分布于糜棱岩化石英脉中。随着成矿热液温度降低, 金及金属硫化物的沉淀逐渐减少直至终止, 表生期氧化富集开始。

2.2 矿石和金矿物

金属矿物主要有原生的金属硫化物如黄铁矿、黄铜矿、方铅矿、闪锌矿等, 金属氧化物如磁铁矿、钛铁矿、金红石等; 次生的褐铁矿、赤铁矿、黄钾铁矾、铅矾、孔雀石、蓝铜矿、铜蓝等。非金属矿物主要为石英, 其次为少量绢云母、高岭土、绿帘石、斜黝帘石、绿泥石、铁白云石、方解石等。其主要特征是贫黄铁矿, 少多金属硫化物, 局部富含方铅矿。非金属矿物石英普遍出现糜棱岩化或形成糜棱岩及超糜棱岩。据方铅矿、黄铁矿的结晶程度及受力特点有自形—半自形晶, 压碎、角砾状结构; 据构造力学性质特点有糜棱、超糜棱结构; 据自然金嵌布状态有填隙、包含等结构。据方铅矿、黄铁矿分布特征有团块、稀疏浸染、细脉浸染、网脉状构造; 据自然金分布特点有细脉、细脉浸染、浸染状等构造。红山金矿床自然类型多为原生金矿石, 次为混合及少量氧化矿石, 没有明显的垂直分带。金的富集成矿主要发生在热液期多金属硫化物+糜棱岩化石英脉+糜棱岩阶段^[25]。

金矿物以独立自然金为主, 少量含银自然金及银金矿。多呈不规则粒、浑圆状, 角砾、枝叉状, 粒径一般为 0.010~0.074 mm, 部分 0.1~0.3 mm。少量呈细脉、网脉、微脉状沿裂隙充填, 脉长 0.5~4.5 mm。赋存状态主要为裂隙金, 分布于糜棱岩面理及微裂隙中。次为包裹体金, 被石英残斑或糜棱岩中微粒石英包裹。以上表明金与糜棱岩化关系密切^[25]。

3 矿床成因分析

康古尔塔格金矿带严格受位于阿齐山—雅满苏弧后盆地与大南湖—苏头泉岛弧交接部位控制, 与碰撞期后韧性剪切带分布一致^[26]。秋格明塔什—黄山韧性剪切带(又称康古尔塔格韧性剪切带)西起大热泉子附近, 东到梧桐窝子泉还有延伸。实际带长 600 km 以上, 南北宽 20~50 km, 带内已发现康古尔、西滩、西凤山、红山等多处金矿床。根据秋格明塔什—黄山韧性剪切带的宏观特征及次级构造特点, 秦克章等^[25]指出: 宏观上韧性剪切带控制金矿成矿带, 次级构造控制矿床的具体产出部位, 主要宏观展布规律表现为 EW 分段、强度分带和走向上受早期岩体的影响^[27]。综合研究表明, 红山金矿区 11 及 12 号脉属于与韧性剪切带有关的糜棱岩型、超糜棱岩型矿床。金的最初富集与岩浆的多次侵入有紧密的内在联系, 断裂及次级构造的多期次活动为岩浆的侵入创造了有利条件。随着韧性及脆—韧性变形的增强, 剪切作用多次叠加形成不同尺度的导矿和容矿空间, 为含金热液的运移、沉淀、

富集提供空间, 最终导致金的工业矿体侵入^[28]。

4 ⁴⁰Ar/³⁹Ar 同位素年代学研究

为确定红山金矿床的成矿作用时代及成矿和剪切变形作用之间的时间耦合关系, 从金矿石和容矿韧性剪切带的糜棱岩中选出单矿物进行 ⁴⁰Ar/³⁹Ar 同位素测年分析。

4.1 ⁴⁰Ar/³⁹Ar 同位素测年简要实验流程

岩石标本经清洗烘干后破碎至 60~80 目, 通过磁选和重液分选选出单矿物。清洗后的矿物样品被封进石英瓶中送核反应堆接受中子照射。照射工作是在中国原子能科学研究所的“游泳池堆”中进行的。使用 H8 孔道, 其中子流密度约为 6.4×10¹² n cm⁻² s⁻¹。照射总时间为 3905 分钟, 积分中子通量为 5.42×10¹⁷ n cm⁻²; 同期接受中子照射的还有用做监控样的标准样: ZBH-25 黑云母国内标样, 其标准年龄为 132.7 Ma, K 含量为 7.6%。

样品的阶段升温加热使用电子轰击炉, 每一个阶段加热 30 min, 净化 30 min。质谱分析是在 MM-1200B 质谱计上进行的, 每个峰值均采集 8 组数据。所有的数据在回归到时间零点值后再进行质量歧视校正、大气氩校正、空白校正和干扰元素同位素校正。系统空白水平: m/e=40、39、37、36 分别小于 6×10⁻¹⁵ mol、4×10⁻¹⁶ mol、8×10⁻¹⁷ mol 和 2×10⁻¹⁷ mol。中子照射过程中所产生的干扰同位素校正系数通过分析照射过的 K₂SO₄ 和 CaF₂ 来获得: (³⁶Ar/³⁷Ar)_G=0.000 238 9, (⁴⁰Ar/³⁹Ar)_K=0.004 782, (³⁹Ar/³⁷Ar)_G=0.000 806。³⁷Ar 经过放射性衰变校正; ⁴⁰K 衰变常数=5.543×10⁻¹⁰ 年⁻¹^[29]。用 ISOPLLOT 程序计算坪年龄和反等时线年龄^[29], 坪年龄和等时线年龄误差均以 2σ 给出, 详细实验流程见有关文献^[30-31]。

4.2 ⁴⁰Ar/³⁹Ar 同位素测年结果

4.2.1 红山金矿床矿石中绢云母的 ⁴⁰Ar/³⁹Ar 年龄

从红山金矿 11 号脉中采集金矿石样品 (T98062、T98065)。矿石为自形粒状—片状结构, 斑杂状构造。受应力作用及不同脉体的穿插, 使矿石呈角砾斑杂状。早期石英脉中的石英被压扁拉长呈板条状, 大致平行排列, 部分碎粒化, 有的重结晶呈近等粒镶嵌状, 在应力作用下石英脉或成不规则弯曲状, 或成团块状, 有黄铁矿绢云母脉沿早期石英脉裂隙贯入。黄铁矿绢云母脉是黄铁矿的主要成矿阶段, 矿脉形态不规则。黄铁矿为自形粒状, 绢云母为细小鳞片状, 部分定向排列。晚期石英一般没有塑性变形及碎粒化现象。绿泥石为浅绿色, 呈放射状, 扇状集合体。

T98062 样品中绢云母 ⁴⁰Ar/³⁹Ar 阶段升温年龄分析结果见表 1 (T98062 m)。10 个温度阶段组成了一个受扰动的年龄谱 (图 2a), 总气体年龄为 242.5 Ma。700~1 300 ℃ 的 7 个温度阶段组成了一个年龄坪, 坪年龄为 T_p=(246.9±1.4) Ma, 对应了 77.9% 的 ³⁹Ar 释放量。相应的 ³⁹Ar/⁴⁰Ar—³⁶Ar/⁴⁰Ar 反等时线年龄为 T_i=(245.2±4.7) Ma, ⁴⁰Ar/³⁶Ar 初始比值为 ⁴⁰Ar/³⁶Ar=307±30 (MSWD=0.66) (图 3a)。246.9 Ma 的 Ar—Ar 坪年龄近

表 1 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 阶段升温加热分析

Table 1 Results of $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ stepwise heating dating

T(℃)	$(^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_{\text{m}}$	$(^{36}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_{\text{m}}$	$(^{37}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_{\text{m}}$	F	$^{39}\text{Ar}(\text{Cum.})(\%)$	Age(Ma)	$\pm 1\sigma$ (Ma)
T98062 m 绢云母 W=85 mg J=0.019286							
400	24.8653	0.0435	0.0043	11.9956	2.98	375.4	5.4
500	8.3299	0.0096	0.0021	5.4954	13.87	181.7	2.1
600	10.1537	0.010	0.0020	7.1954	22.11	234.4	3.0
700	8.3578	0.0026	0.0011	7.5933	58.34	246.5	2.7
800	8.8939	0.0043	0.0013	7.6153	77.55	247.2	3.1
900	8.8501	0.0044	0.0017	7.5454	87.02	245.1	3.1
1000	8.9829	0.0047	0.0018	7.5753	95.4	245.9	3.2
1100	9.8995	0.0072	0.0021	7.7676	98.59	251.8	4.0
1200	11.4050	0.0130	0.0036	7.5655	99.68	245.7	6.3
1300	16.4640	0.0257	0.0071	8.8558	100.00	285	36
Total age=242.5Ma; Tp= (246.9±1.4) Ma; Ti= (245.2±4.7) Ma, MSWD=0.66							
T98065 m 绢云母 W=76 mg J=0.019371							
400	12.3716	0.0109	0.0034	9.1355	7.51	293.9	5.6
500	6.1505	0.0061	0.0012	4.3453	20.25	145.8	3.3
600	8.9431	0.0057	0.0013	7.2553	29.33	237.2	3.5
700	8.4437	0.0031	0.001	7.5305	66.39	245.6	2.7
800	17.1849	0.0325	0.0120	7.5861	69.03	247	15
900	8.5333	0.0033	0.001	7.5553	85.97	246.4	2.4
1000	8.7608	0.0041	0.0015	7.5353	94.80	245.8	2.4
1100	9.1911	0.0055	0.0028	7.5754	98.09	247.0	2.8
1200	9.1105	0.0054	0.0038	7.5955	99.31	247.6	2.7
1300	10.7791	0.0099	0.0064	7.8457	100.00	255	14
Total age=236.1Ma; Tp= (246.5±1.1) Ma; Ti= (245.6±3.6) Ma, MSWD=0.43							
T98046 h 角闪石 W=155.00 mg J=0.019385							
500	5.6500	0.0056	3.6244	4.2479	5.70	142.5	3.1
600	7.9199	0.0077	2.9960	5.8457	9.85	193.6	4.1
700	8.3205	0.0038	3.0030	7.4093	17.49	242.1	2.9
800	8.8007	0.0035	2.8910	7.9921	23.31	259.8	3.2
900	9.5170	0.0041	2.9366	8.5277	31.15	275.9	3.5
1000	9.4121	0.0042	3.1074	8.3999	42.46	272.1	3.3
1100	9.3213	0.0034	2.9490	8.5147	68.80	275.6	3.0
1200	9.7146	0.0043	2.7083	8.6394	85.98	279.3	3.3
1300	9.4870	0.0037	2.9673	8.6095	97.05	278.4	3.2
1400	10.2197	0.0066	3.0426	8.5152	100.00	275.6	9.2
Total age=261.7Ma; Tp= (276.3±1.4) Ma; Ti= (276.0±4.0) Ma, MSWD=1.3							
T98046 m 白云母 W=82 mg J=0.019013							
400	6.2472	0.0063	0.0025	4.3754	2.18	146.8	3.4
500	7.7406	0.0050	0.0022	6.2554	7.91	202.7	3.0
600	8.5655	0.0042	0.0016	7.3253	20.12	235.2	3.0
700	9.0477	0.0046	0.0015	7.6864	59.16	246.1	3.2
800	8.8205	0.0036	0.0015	7.7453	86.03	247.8	2.9
900	8.7896	0.0036	0.0016	7.7153	94.75	246.9	2.9
1000	8.8131	0.0039	0.0015	7.6453	98.07	244.8	3.0
1100	8.8939	0.0041	0.0031	7.6755	98.96	245.7	3.0
1200	9.1805	0.0049	0.0014	7.7353	99.61	247.5	3.3
1300	9.1791	0.0047	0.0019	7.7955	100.00	249.3	7.3
Total age=240.6Ma; Tp= (246.5±1.2) Ma; Ti= (244.0±6.0) Ma, MSWD=0.39							

注：表中下标 m 代表质谱测定的同位素比值；F= $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 是指放射性成因 ^{40}Ar 和 ^{39}Ar 比值； $^{37}\text{Ar}_0$ 指经过放射性衰变校正的 ^{37}Ar ； $(^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar})_0$ 指 ^{40}Ar 和 ^{36}Ar 初始比值；Total age=总气体年龄；Tp=坪年龄；Ti=等时线年龄。

似为绢云母的形成年龄。

T98065样品中绢云母 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 阶段升温年龄分析结果见表 1(T98065m)。10 个温度阶段组成了一个受扰动的年龄谱(图 2b),总气体年龄为 236.1 Ma。700~1 300 ℃的 7 个中-高温阶段组成了一个年龄坪,坪年龄为 $T_p=(246.5\pm 1.1)\text{Ma}$,对应了 70.7%的 ^{39}Ar 释放量。相应的 $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}-^{36}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ 反等时线年龄为 $T_i=(245.6\pm 3.6)\text{Ma}$, $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 初始比值为 $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}=301\pm 23$ (MSWD=0.43)(图 3b)。等时线年龄和坪

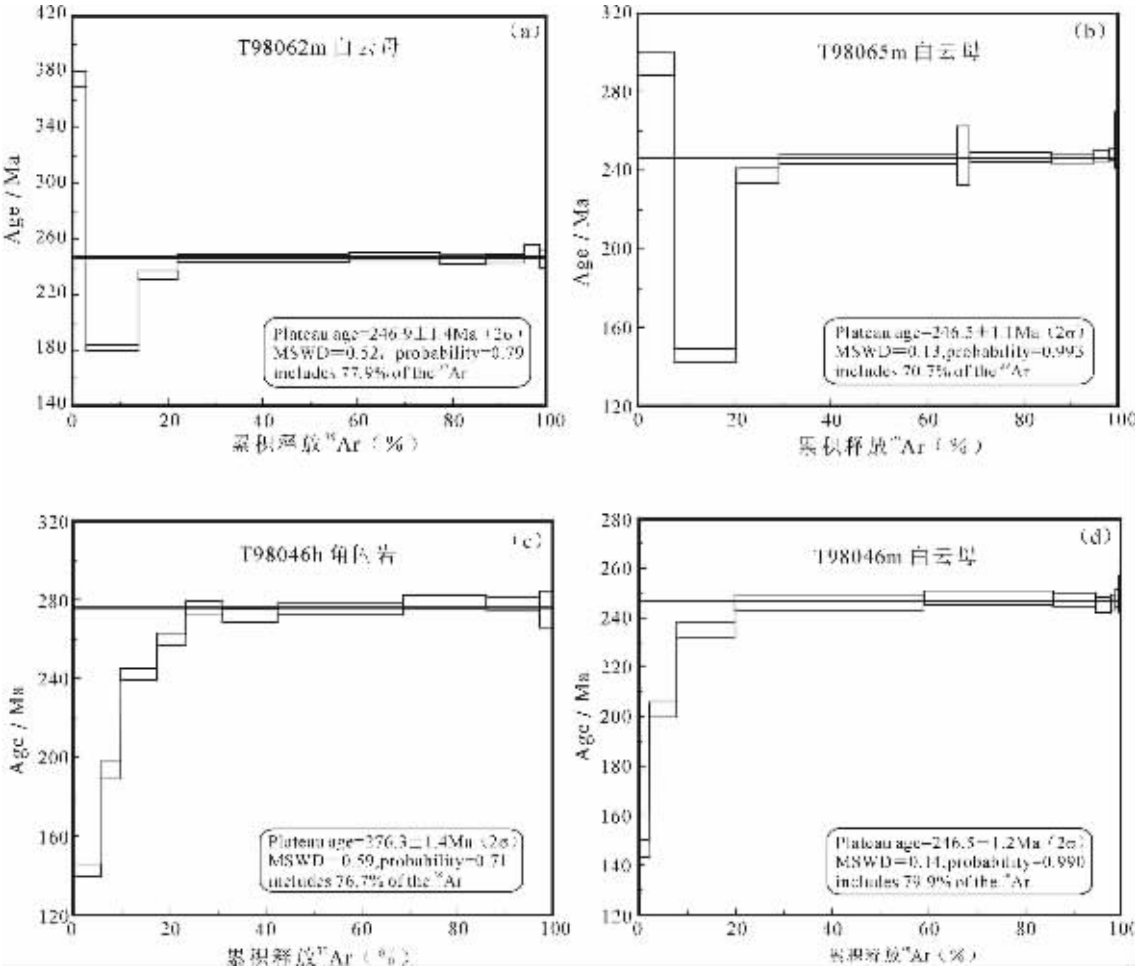


图2 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 阶段升温年龄谱图

Fig. 2 ^{39}Ar – ^{40}Ar stepwise heating age spectra

年龄相近及 $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 初始比值和现代大气氩比值在误差范围内一致的事实表明, $(246.5 \pm 1.1)\text{Ma}$ 的 Ar–Ar 坪年龄是有地质意义的, 它代表了绢云母形成以后冷却降温至 350°C 时的年龄, 也近似为绢云母的形成年龄。

4.2.2 红山金矿床容矿韧性剪切带中糜棱岩的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄

样品 T98046 采自红山金矿床容矿韧性剪切带中糜棱岩, 该套糜棱岩原岩为花岗岩。岩石呈花岗鳞片变晶结构, 条带状构造, 定向构造。主要金属矿物是黄铁矿, 自形粒状, 常有绿泥石或石英构成其压力影。石英大致有两种产态, 一种是粒径 $0.01\sim0.3\text{mm}$, 压扁拉长现象明显。第二种以压力影形式产出在黄铁矿侧翼。新生矿物以绿泥石为主, 不均匀定向分布, 构成线理方向。其次是白云母, 分布不均, 有时单独呈断线状, 有时与绿泥石相伴产出。角闪石有压扁现象, 部分蚀变。

从该岩石样品中选出角闪石做 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 阶段升温年龄

分析, 结果见表 1(T98046h)。10 个温度阶段组成了一个年龄谱(图 2c), 总气体年龄为 261.7Ma 。其中 $900\sim1400^\circ\text{C}$ 的 6 个高温阶段组成了一个年龄坪, 坪年龄 $T_p=(276.3 \pm 1.4)\text{Ma}$, 对应了 76.7% 的 ^{39}Ar 释放量。相应的 $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ – $^{36}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ 反等时线年龄 $T_i=(276.0 \pm 4.0)\text{Ma}$, $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 初始比值为 294 ± 35 (MSWD=1.3)(图 3c)。 276.3Ma 的 Ar–Ar 坪年龄代表了岩体冷却降温穿过角闪石 Ar 同位素封闭温度点(约 550°C) 的年龄, 也可以近似地认为是花岗岩的侵位年龄。这一年龄值也给出了红山金矿床成矿事件的时代上限。

从该岩石样品中选出新生白云母做 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 阶段升温年龄分析, 结果见表 1(T98046m)。10 个温度阶段组成的年龄谱见图 2d, 总气体年龄为 240.6Ma 。 $700\sim1300^\circ\text{C}$ 的 7 个中–高温阶段组成了一个良好的年龄坪, 坪年龄 $T_p=(246.5 \pm 1.2)\text{Ma}$, 对应了 79.9% 的 ^{39}Ar 释放量。相应的 $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ – $^{36}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$

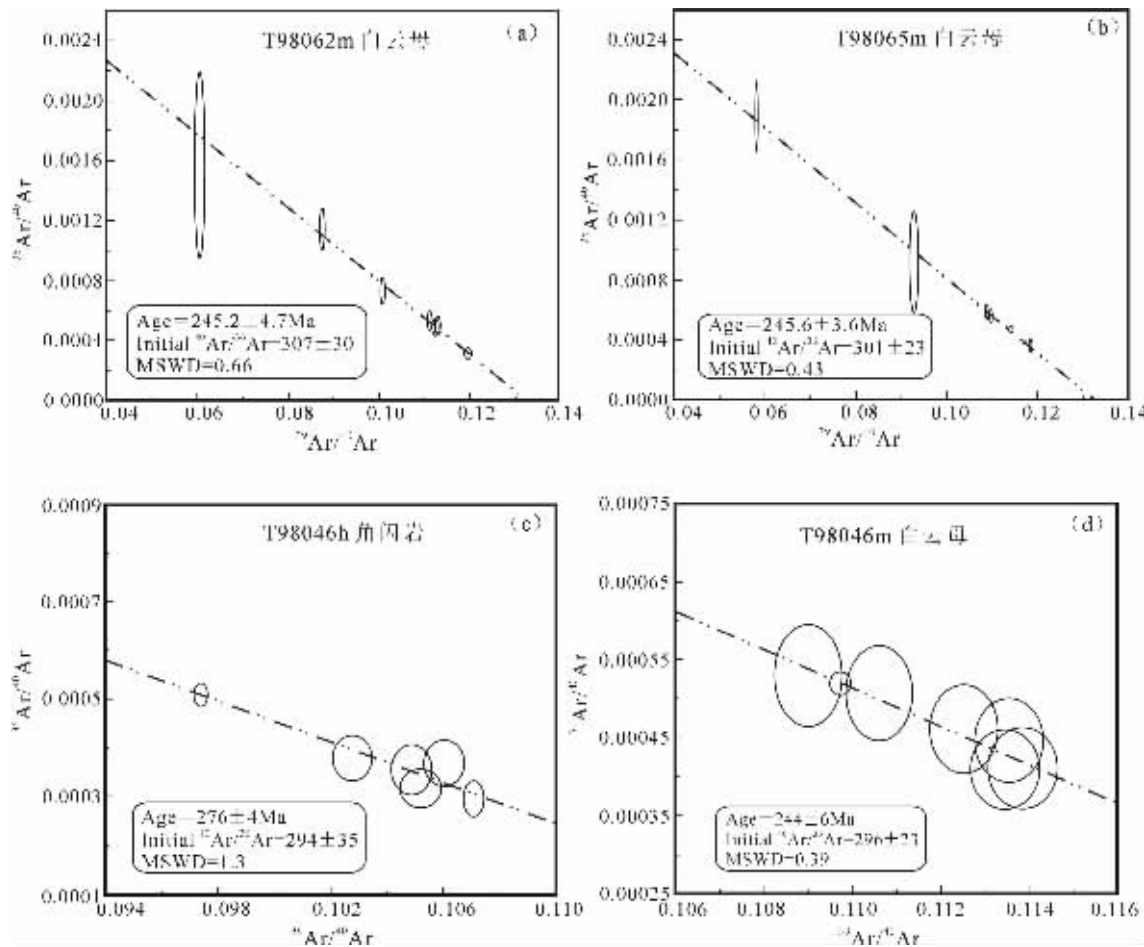


图 3 $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ – $^{36}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ 等时线图
Fig. 3 $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ vs. $^{36}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ isochron diagram

^{40}Ar 反等时线年龄为 $Ti=(244.0\pm6.0)\text{Ma}$, $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 初始比值为 296 ± 23 (MSWD=0.39) (图 3d)。由于白云母的 Ar 同位素封闭温度为 $350\pm50\text{ }^{\circ}\text{C}$, 所以, 246.5 Ma 代表了新生白云母形成以后冷却降温至 $350\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右时的年龄。

5 讨论

矿床成因研究表明, 红山金矿的形成严格受秋格明塔什—黄山韧性剪切带控制, 属于与韧性剪切带有关的糜棱岩型、超糜棱岩型矿床^[29]。因此, 分析韧性剪切作用的相关时代, 可以对成矿事件给予时间制约。

秋格明塔什—黄山韧性剪切带动力变质岩类型多样, 钙质动力变质岩形成由方解石定向排列组成的钙质构造片岩, 长英质碎屑岩形成云母构造片岩、石英砂质构造片岩、变形砾岩; 结晶岩动力变质岩则形成糜棱片岩和眼球状糜棱岩。韧性剪切带动力变质相可分为中部黑云母—绿泥石亚相和南北外带绿泥石—白云母亚相(红山金矿即位于北外带), 动力

变质相带呈对称分布。岩石动力变质温度为 $300\sim500\text{ }^{\circ}\text{C}$, 压力为 $200\sim250\text{ MPa}$, 相当于地壳 $10\sim15\text{ km}$ 的构造环境^[32-33]。角闪石矿物的 Ar 同位素封闭温度为 $550\text{ }^{\circ}\text{C}$ ^[34], 高于岩石变质温度的最大值, 因此, 剪切变形作用没有造成角闪石 Ar 同位素体系开放, 其 276.3 Ma 的 Ar–Ar 坪年龄代表了岩体冷却降温穿过角闪石 Ar 同位素封闭温度点(约 $550\text{ }^{\circ}\text{C}$)的年龄, 也可以认为是近似的花岗岩的侵位年龄。这一年龄值也给出了红山金矿床成矿事件的时代上限。

两个金矿石样品中绢云母的 Ar–Ar 坪年龄分别为 246.9 Ma 和 246.5 Ma , 严格地讲, 它们只能代表绢云母形成以后冷却降温至其 Ar 同位素封闭温度(约 $350\text{ }^{\circ}\text{C}\pm$)时的年龄, 只有在快速冷却的情况下, 才能近似认为是绢云母的形成年龄。

此前的 Ar–Ar 同位素年代学研究表明, 秋格明塔什—黄山韧性剪切带剪切变形作用主活动期的时代为 $262.9\sim242.8\text{ Ma}$, 历时近 20 Ma 。其中在其东段, 剪切变形作用产生

的糜棱岩时代为 247.1~242.8 Ma, 快速抬升发生在 247.1~246.9 Ma 期间,冷却速率>200 ℃/Ma^[35]。由于红山金矿位于该剪切带东段的北外带,也经历了相同的冷却降温历史,与金矿同时形成的绢云母在形成之后不到 1 Ma 时间内即降温至其 Ar 同位素体系封闭温度区间,所以,金矿石样品中绢云母 246.9 Ma 和 246.5 Ma 的 Ar-Ar 坪年龄近似记录了绢云母的形成年龄,也是金矿床主成矿期的年龄。

糜棱岩中新生白云母 (246.5±1.2)Ma 的坪年龄,在误差范围内和金矿石样品中绢云母的 Ar-Ar 坪年龄完全一致,不仅为红山金矿床的剪切带型成因提供了进一步的佐证,也对金成矿时代给予了进一步的限定。

从以上的讨论可以初步认定:红山金矿床成矿事件发生于 276.3 Ma 以后,主成矿期时代在 246.9~246.5 Ma。

致谢:李红兵,宋金权高级工程师在野外地质调查期间曾给予帮助,陈毓川院士、王义天研究员、李锦轶研究员、高俊研究员及“973”项目办公室全体同志在研究过程中给予帮助,宋迎年女士绘制有关图件,在此对以上各位表示衷心感谢!

参考文献(References):

[1] 张良臣, 吴乃元. 天山地质构造及演化史[J]. 新疆地质, 1985, 3 (3): 1~14.
Zhang Liangchen, Wu Naiyuan. Tianshan geology tectonics and its evolution histry [J]. Xinjiang Geology, 1985, 3 (3): 1~14 (in Chinese with English abstract).

[2] 姬金生、陶洪祥、曾章仁, 等. 东天山康古尔塔格金矿带地质与成矿[M]. 北京:地质出版社, 1994, 1~204.
Ji Jinsheng, Tao Hongxiang, Zeng Zhangren et al.. Geology and Metalloge of Kangguertage Gold Belt in East Tianshan[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1994, 1~204 (in Chinese with English abstract).

[3] 杨兴科, 陶洪祥, 罗桂昌, 等. 东天山板块构造基本特征[J]. 新疆地质, 14(3): 1996. 221~227.
Yang Xingke, Tao Hongxiang, Luo Guichang, et al. Basic features of plate tectonics in east Tianshan of China [J]. Xinjiang Geology, 1996, 14(3): 221~227 (in Chinese with English abstract).

[4] 杨兴科, 姬金生, 罗桂昌, 等. 东天山板块构造与金属矿产成矿规律[J]. 西安地质学院学报, 1997, 19(3): 34~42.
Yang Xingke, Ji Jinsheng, Luo Guichang, et al. Plate tectonic and forming law of the metallic ore deposits in Eastern Tianshan [J]. Journal of Xi'an College of Geology, 1997, 19(3): 34~42 (in Chinese with English abstract).

[5] 杨兴科, 姬金生, 张连昌, 等. 东天山秋格明塔什-黄山韧性剪切带变形特征分析[J]. 西安工程学院学报, 1998, 20(3): 11~18.
Yang Xingke, Ji Jinsheng, Zhang Lianchang, et al. Analysis of deformation features of Qiugamintashi Huangshan ductile shear zone, Eastern Tianshan[J]. Journal of Xi'an Engineering University, 1998, 20(3): 11~18 (in Chinese with English abstract).

[6] 杨兴科, 陈强, 姬金生, 等. 康古尔塔格含金剪切带的厘定及其地

质找矿意义[J]. 西安工程学院学报, 2000, 22(3): 1~4.
Yang Xingke ,Chen Qiang, Ji Jinsheng, et al. Establishment of Kangguertage auriferous shear zone and its important geological and ore searching significance[J]. Journal of Xi'an Engineering University, 2000, 22(3): 1~4 (in Chinese with English abstract).

[7] 苏生瑞, 杨兴科. 秋格明塔什-黄山韧性剪切带构造变形序列[J]. 成都理工学院学报, 1997, 24(4): 102~107.
Su Shengrui, Yang Xingke. The structural deformation sequence of the Qiugemingtashi Huangshan ductile shear zone [J]. Journal of Chengdu University of Technology, 1997, 24 (4): 102~107 (in Chinese with English abstract).

[8] 舒良树, 马瑞士, 郭令智, 等. 天山东段推覆构造研究[J]. 地质科学, 1997, 32(3): 337~350.
Shu Liangshu, Ma Ruishi, Guo Lingzhi, et al. Research on the thrust tectonics of the eastern Tianshan belt, Xinjiang [J]. Scientia Geologica Sinica, 1997, 32 (3): 337~350 (in Chinese with English abstract).

[9] 马瑞士, 舒良树, 等. 东天山构造演化与金属成矿作用[M]. 北京:地质出版社, 1997, 1~202.
Ma Rushi, Su Liangshu et al. Tectonic Evolution and Metallogenetic of Metallic Deposits in East Tianshan [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1997, 1~202 (in Chinese with English abstract).

[10] 李华芹, 谢才富, 常海亮, 等. 新疆北部有色贵金属矿床成矿作用年代学[M], 北京, 地质出版社, 1998, 62~105.
Li Huaqin, Xie Caifu, Chang Hailiang, et al. Study on Metallogenic Chronology of Nonferrous and Precious Metallic Ore Deposits in North Xinjiang, China[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1998, 62~105 (in Chinese with English abstract).

[11] 张连昌, 姬金生, 杨兴科, 等. 东天山马头滩韧性剪切带型金矿地质特征及成因[J]. 西安工程学院学报, 1998, 20(4): 16~19.
Zhang Lianchang, Ji Jinsheng, Yang Xingke, et al. Geological characteristics and genesis of the ductile shear zone-type gold deposit inmatoutan eastern Tianshan[J]. Journal of Xi'an Engineering University, 1998, 20(4): 16~19 (in Chinese with English abstract).

[12] 张连昌, 姬金生, 李华芹, 等. 东天山康古尔塔格金矿带两类成矿流体地球化学特征及流体来源[J]. 岩石学报, 2000, 16(4): 536~541.
Zhang Lianchang, Ji Jinsheng, Li Huaqin, et al. Geochemical characteristics and source of two-type oreforming fluids in Kanggultage gold ore belt, east Tianshan[J]. Acta Petrologica Sinica , 2000, 16 (4) : 535~541 (in Chinese with English abstract).

[13] 高怀忠, 张旺生. 新疆北部金矿与板块碰撞作用的关系[J]. 地学前缘, 1999, 6(1): 138.
Gao Huaizhong, Zhang Wangsheng. Relationship of gold deposit and plate collision in Northern Xinjiang [J]. Earth Science Frontiers, 1999, 6(1): 138 (in Chinese with English abstract).

[14] Qin Kezhang, Wang S L, Sun Su. Paleozoic epithermal Au and porphyry Cu in north Xinjiang: features, epochs and tectonic settings. International symposium on gold and hydrothermal systems, Fukuoka, Japan, 2001. 11~18.

- [15] 秦克章, 方同辉, 王书来, 等. 东天山板块构造分区、演化与成矿地质背景研究[J]. 新疆地质, 2002, 20 (4): 302~308.
- Qin Kezhang, Fang Tonghui, Wang Shulai, et al. Plate tectonics division, evolution and metallogenic setting in eastern Tianshan Mountains, NW-China[J]. Xinjiang Geology, 2002, 20 (4): 302~308(in Chinese with English abstract).
- [16] Li J Y, Xiao W J, Wang K Z, et al. Neoproterozoic-Paleozoic tectonostratigraphic framework of Eastern Xinjiang, NW China [A]. In Mao J W, Goldfarb R, Seltnann R, et al (eds.). Tectonic Evolution and Metallogeny of the Chinese Altay and Tianshan, IGCP 473 Workshop 2003, Urumqi, International Association on the Genesis of Ore Deposits (IAGDO), CERAMS, Natural History Museum, London, 2003, 31~74.
- [17] Xu X W, Ma T N, Sun L Q, et al. Characteristics and dynamic origin of the large-scale Jialuotage ductile compressional zone in the Eastern Tianshan Mountains, China [J]. Journal of Structural Geology, 2003, 25, 1901~1915.
- [18] Xiao W J, Zhang L C, Qin K Z, et al. Paleozoic accretionary and collisional tectonics of the Eastern Tianshan (China): Implications for the continental growth of central Asia [J]. American Journal of Science, 2004, 304: 370~395.
- [19] 王福同, 冯京, 胡建伟, 等. 新疆土屋大型斑岩铜矿床特征及发现意义[J]. 中国地质, 2001, 28(1): 36~39.
- Wang Futong, Feng Jing, Hu Jianwei, et al. Characteristics and significance of the Tuwu porphyry copper deposit, Xinjiang[J]. Geology in China (Chinese Geology), 2001, 28(1): 36~39(in Chinese).
- [20] 芮宗瑶, 王福同, 李恒海, 等. 新疆东天山斑岩铜矿带的新进展[J]. 中国地质, 2001, 28(2): 11~16.
- Rui Zongyao, Wang Futong, Li Henghai, et al. Advance of the porphyry copper belt of the East Tianshan mountain, Xinjiang[J]. Geology in China (Chinese Geology), 2001, 28(2): 11~16(in Chinese).
- [21] 王福同, 庄道泽, 胡建伟, 等. 物探在新疆土屋地区铜矿找矿中的应用——兼谈斑岩铜矿藏分“三位一体”的找矿模式[J]. 中国地质, 2001, 28(3): 40~46.
- Wang Futong, Zhuang Daoze, Hu Jianwei, et al. Application of geophysical exploration method in the Tuwu area, Xinjiang——On the prospecting model of porphyry copper deposit[J]. Geology in China (Chinese Geology), 2001, 28(3): 40~46(in Chinese).
- [22] 龙保林, 薛迎喜, 冯京, 等. 新疆东天山斑岩铜矿的找矿模型试探[J]. 中国地质, 2001, 28(5): 35~38.
- Long Baolin, Xue Yingxi, Feng Jing, et al. Prospecting model of the porphyry copper deposits of East Tianshan, Xinjiang[J]. Geology in China (Chinese Geology), 2001, 28(5): 35~38(in Chinese).
- [23] 陈富文, 何国琦, 李华芹. 论东天山觉罗塔格造山带的大地构造属性[J]. 中国地质, 2003, 30(4): 361~366.
- Chen Fuwen, He Guoqi, Li Huaqin. Tectonic attribute of the Qoltag orogenic belt in the East Tianshan Mountains, northwestern China [J]. Geology in China, 2003, 30 (4): 361~366 (in Chinese with English abstract).
- [24] 连长云, 章革, 元春华, 等. 短波红外光谱矿物测量技术在热液蚀变矿物填图中的应用——以土屋斑岩铜矿床为例 [J]. 中国地质, 2005, 32(3): 483~495.
- Lian Changyun, Zhang Ge, Yuan Chunhua, et al. Application of SWIR reflectance spectroscopy in mapping of hydrothermal alteration minerals: a case study of the Tuwu porphyry copper prospect, Xinjiang[J]. Geology in China, 2005, 32(3): 483~495 (in Chinese with English abstract).
- [25] 赵海滨, 周新春, 李广文, 等. 新疆红山糜棱岩型金矿床地质特征及成矿条件[J]. 黄金地质, 2004, 10(2): 33~38.
- Zhao Haibin, Zhou Xinchun, Li Guangwen, et al. Geological features and metallogenetic condition of the Hongshan mylonite-type gold deposit, Xinjiang[J]. Gold Geology, 2004, 10 (2): 33~38 (in Chinese with English abstract).
- [26] 李锦铁, 王克卓, 李文铅, 等. 东天山晚古生代以来大地构造与矿产勘查[J]. 新疆地质, 2002, 20 (4): 295~301.
- Li Jinyi, Wang Kezhuo, Li Wenqian, et al. Tectonic evolution since the late Paleozoic and mineral prospecting in eastern Tianshan Mountains, NW China[J]. Xinjiang Geology, 2002, 20 (4): 295~301(in Chinese with English abstract).
- [27] 秦克章, 孙枢, 李继亮, 等. 新疆古生代矿床组合的六大构造阶段划分及其意义[J]. 矿床地质, 2002, (增刊): 203~206.
- Qin Kezhang, Sun Shu, Li Jiliang et al. Division of six tectonic stages of major metallic deposits in Northern Xinjiang and its implications[J]. Mineral Deposits Geology, 2002, 21 (Supp.): 203~206(in Chinese with English abstract).
- [28] Steiger R H, Jager E. Subcommission on geochronology: convention on the use of decay constants in geo- and cosmochemistry [J]. Earth Planet. Sci. Lett., 1977, 36: 359~362.
- [29] Ludwig K. R. Isoplot/Ex, rev. 2.49: A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel. Berkeley Geochronological Center, Special Publication, 1: a. 2001.
- [30] Chen Wen, Zhang Yan, Ji Qiang, et al. The magmatism and deformation times of the Xidatan rock series, East Kunlun Mountain[J]. Science in China (Series B), 2002, 45 (Supp.): 20~27.
- [31] Zhang Yan, Chen Wen, Liu Xinyu, et al. Tectonic setting discrimination and $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ isotope geochronology of Miba granite[J]. Science in China (Series B), 2002, 45 (S): 47~54.
- [32] 郭瑞清. 康古尔金矿韧性剪切带控矿机制、地球化学特征及矿床成因探讨[D]. 新疆工学院资源与环境工程系, 硕士学位论文. 1999.
- Guo Ruiqing. Study of the structures, geochemistry features and metallogenetic genesis of kangguer gold deposit [D]. Xinjiang University of Technology Thesis of Master, 1999 (in Chinese with English abstract).
- [33] 韩春明, 毛景文, 杨建民, 等. 新疆东天山铜及其多金属矿床成矿系列研究[J]. 矿床地质, 2002, 21 (增刊): 125~127.
- Han Chunming, Mao Jingwen, Yang Jianmin, et al. Research on metallogenetic series of copper-polymetallic deposits in East Tianshan Mountains[J]. Deposit Mineral, 2002, 21 (Supp.): 125~127 (in Chinese with English abstract).

- [34] Harrison T M. Diffusion of ^{40}Ar in hornblende[J]. Contributions in Mineralogy and Petrology, 1981, 78, 324~331
- [35] 陈文, 孙枢, 张彦, 等. 新疆东天山秋格明塔什-黄山韧性剪切带 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年代学研究[J]. 地质学报, 2005, 79(6): 790~804.
- Chen Wen, Sun Shu, Zhang Yan, et al. Jiang Lifeng, Yang Juntao.

$^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ geochronology study of the Qiugemingtashi-Huangshan ductile shear zone in East Tianshan, Xinjiang, NW China [J]. Acta Geological Sinica, 2005, 79(6): 790~804 (in Chinese with English abstract).

Mineralization age of the Hongshan gold deposit, East Tianshan, Xinjiang

CHEN Wen¹, ZHANG Yan¹, ZHAO Hai-bin², HAN Dan³, WANG Cheng-yu³

(1. Key Laboratory of Isotope Geology, Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Science, Beijing 100037, China;

2. No. 8 Gold Geological Party, Gold Headquarters, Ürümqi, Xinjiang 830057, China;

3. Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Science, Beijing 100037, China)

Abstract: The Hongshan gold field is located at the north edge of the east section of the Qiugemingtashi-Huangshan ductile shear zone. The study of the genesis of the Hongshan gold deposit shows that its formation was strictly controlled by this ductile shear zone and that it belongs to a mylonite type or ultramylonite type deposit related to the ductile shear zone. Hornblende in granitic mylonite yields an Ar-Ar plateau age of 276.3 Ma, representing the upper limit of the ore-forming event of the Hongshan gold deposit. Sericite in gold ore samples give Ar-Ar plateau ages of 246.9 and 246.5 Ma, recording the age of the main mineralization stage of the gold deposit. The Ar-Ar plateau age of 246.5 Ma of the neogenic muscovite in mylonite is in agreement within error with that of the sericite in gold ore, which not only provides further evidence for the Hongshan gold deposit being of shear zone type origin but also puts a further constraint on the age of gold mineralization.

Key words: mineralization age; Ar-Ar age; mylonite type gold deposit; ductile shear zone; Xinjiang

About the first author: CHEN Wen, male, born in 1962, doctor and senior researcher, mainly engages in research on isotope geochronology; E-mail: chenwenf@vip.sina.com.