

周刚,董连慧,秦纪华,等.新疆多拉纳萨依金矿一带花岗岩类形成时代及其对金矿成矿作用的制约[J].中国地质,2015,42(3):677-690.
Zhou Gang, Dong Lianhui, Qin Jihua, et al. The age of the granitoids in the Dolanasayi gold ore district in Xinjiang and its constraints on gold mineralization[J]. Geology in China, 2015, 42(3): 677-690(in Chinese with English abstract).

新疆多拉纳萨依金矿一带花岗岩类形成时代及其对金矿成矿作用的制约

周 刚¹ 董连慧¹ 秦纪华² 张立武² 赵忠合² 李 永³

(1.新疆地质矿产勘查开发局,新疆乌鲁木齐 830000; 2.新疆地质矿产勘查开发局第四地质大队,新疆阿勒泰 836500; 3.新疆有色地勘局地质勘查院,新疆乌鲁木齐 830000)

摘要:新疆阿尔泰山带西南缘分布有多拉纳萨依、赛都、哲兰德等大中型金矿床,近年又发现沃多克等小型金矿。这些金矿主要赋存于糜棱岩化石英闪长岩中,岩石地球化学特征表明沃多克和多拉纳萨依金矿含矿石英闪长岩特征基本一致,属同一期岩浆活动的产物,而明显不同于两矿床之间的萨热乌增英云闪长岩。沃多克金矿含矿石英闪长岩和萨热乌增英云闪长岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄分别为(299.4±4.1) Ma 和(317.7±1.5) Ma。二者分别属于后造山和后碰撞花岗岩。沃多克含金石英闪长岩年龄限定了多拉纳萨依一带金矿形成时代不早于 300 Ma,结合前人的研究成果分析,表明其主要成矿时期为 290 Ma 左右。萨热乌增等岩体的形成早于金矿形成时代,金的成矿作用与该期大规模花岗岩体的侵位无关。

关 键 词: 阿尔泰;多拉纳萨依金矿;花岗岩类;形成时代;金成矿作用

中图分类号: P588.12; P618.51 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3657(2015)03-0677-14

The age of the granitoids in the Dolanasayi gold ore district in Xinjiang and its constraints on gold mineralization

ZHOU Gang¹, DONG Lian-hui¹, QIN Ji-hua², ZHANG Li-wu², ZHAO Zhong-he², LI Yong³

(1. Xijiang Bureau of Geology and Mineral Resources, Urumqi 830000, Xinjiang, China; 2. No. 8 geological Party, Xijiang Bureau of Geology and Mineral Resources, Altay 836500, Xinjiang, China; 3. Nonferrous Geology and Mineral Resources Exploration Institute of Xinjiang, Urumqi 830000, Xinjiang, China)

Abstract: Medium- to large-sized gold deposits, such as Dolanasayi, Saidu and Zhelände, are distributed along the southwestern margin of the Altay orogenic belt. In recent years, exploration work has led to the discovery of the Vodok deposit and some other small-sized gold deposits in this belt. These gold deposits mainly occur in the mylonitic quartz diorite. The quartz diorites in the Vodok and the Dolanasayi gold deposits share similar geochemical features, and they are genetically related to a common magmatic activity. On the other hand, the Sarewuzeng tonalite outcropped between the the Vodok and the Dolanasayi gold deposits show very

收稿日期:2014-01-14; 改回日期:2014-05-29

基金项目:新疆维吾尔自治区天山英才培养计划资助。

作者简介:周刚,男,1966年生,博士,教授级高工,主要从事地质矿产勘查、研究及技术管理;E-mail: xazhougang@126.com。

different petrography and structure. LA-ICP-MS U-Pb zircon ages reveal that the gold-bearing quartz diorite in the Vodok deposit and Sarewuzeng tonalite crystallized at (299.4 ± 4.1) Ma and (317.7 ± 1.5) Ma, respectively, indicating that the quartz diorite and the tonalite were formed at post-orogenic and post-collision settings individually. The age of gold-bearing quartz diorite in the Vodok deposit constrains the lower limit of the formation age of the Dolanasayi gold deposit. In combination with previous studies and the age obtained in this study, the mineralization of the Vodok and the Dolanasayi gold deposits most probably took place at about 290 Ma. The Sarewuzeng tonalite was emplaced earlier than the gold mineralization and was of no significant relationship with gold mineralization in this area.

Key words: Altay; Dolanasayi gold deposit; granitoid; formation age; gold mineralization

About the first author: ZHOU Gang, male, born in 1966, doctor and senior engineer, mainly engages in geological and mineral survey, research and technological management; E-mail: xazhougang@126.com.

位于中国阿尔泰造山带西南缘的多拉纳萨依—阿舍勒一带花岗岩发育, 约占基岩出露面积的 1/2, 主要有哈巴河复式岩基及多拉纳萨依金矿一带的 3 个英云闪长岩岩株。岩体边部分布有多拉纳萨依、赛都、萨尔朔克等大、中型金矿床, 在哈巴河岩体中还

分布有阿克齐和恰奔布拉克等小型金矿床(图 1)。多拉纳萨依、赛都金矿以及近几年发现的哲兰德和沃多克金矿的含矿地质体主要为石英闪长岩脉^[1-5]。前人在对这些金矿床进行研究的同时, 对这些岩体也进行了研究, 认为金的成矿作用与岩浆侵入活动有

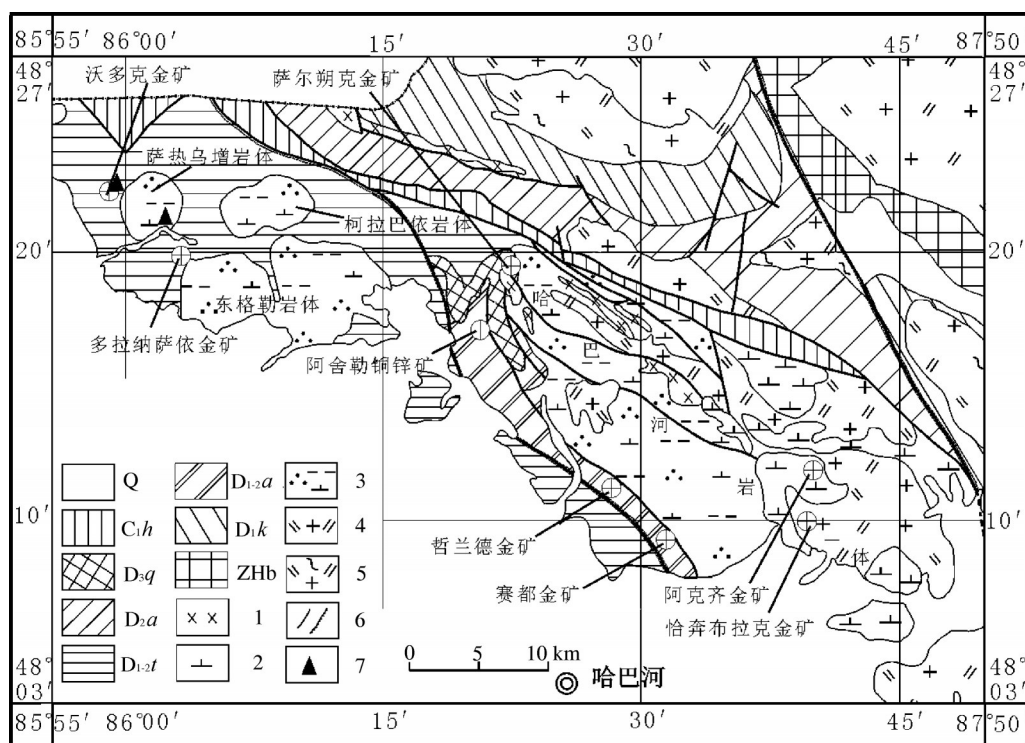


图 1 哈巴河一带岩体及金矿分布地质略图(据文献[7]修改)

Q—第四系; C_1h —下石炭统红山嘴组; D_3q —上泥盆统齐也组; D_2a —中泥盆统阿勒泰组; D_{1-2t} —中下泥盆统托克萨雷组; D_{1-2a} —中下泥盆统阿舍勒组; D_1k —下泥盆统康布铁堡组; ZHb—震旦系哈巴河群; 1—辉长岩; 2—闪长岩; 3—英云闪长岩; 4—二长花岗岩; 5—片麻状二长花岗岩; 6—断裂; 7—同位素年龄采样位置

Fig. 1 Geological map of the rocks and gold deposits of Habahe area (after reference [7])

Q—Quaternary; C_1h —Lower Carboniferous Hongshanzui Formation; D_3q —Upper Devonian Qiye Formation; D_2a —Middle Devonian Altay Formation; D_{1-2t} —Middle-lower Devonian Tuokesalei Formation; D_{1-2a} —Middle-lower Devonian Ashele Formation; D_1k —Lower Devonian Kangbutiebao Formation; ZHb—Simian Habahe Group; 1—Gabbro; 2—Diorite; 3—Tonalite; 4—Monzonitic granite; 5—Plagioclase granite; 6—Fracture; 7—Sampling position for isotopic age

关^[1-6]。近年高精度的同位素测年获得了哈巴河岩体的形成时代为早泥盆世(406 Ma)^[7],与原来的K-Ar和Rb-Sr法测年数据(189~360 Ma)存在较大差异^{[8]①}。而出露于多拉纳萨依金矿一带的英云闪长岩及含矿石英闪长岩尚无较准确的同位素年龄。笔者试图通过对这些岩体形成时代及地球化学特征的研究,探讨该区域岩浆活动对金矿成矿作用的制约。

1 岩体地质特征

多拉纳萨依金矿一带出露有3个岩体,可能属于同一大型岩基在地表的3个自然露头。位于多拉纳萨依金矿西部和沃多克金矿之间的萨热乌增岩体和位于多拉纳萨依北东的柯拉巴依岩体均呈近椭圆形岩株,面积近20 km²。位于多拉纳萨依金矿东部的东格勒岩体规模较大,南部由中新生代地层覆盖,呈不规则状出露于地表,出露面积约75 km²。3个岩体均侵入于下一中泥盆统托克萨雷组一套陆源碎屑岩地层中,近岩体围岩热接触变质作用明显,变质晕宽300~1500 m,形成方柱石透辉石角岩、斑点状黑云堇青石角岩、长英质角岩、角岩化砂岩等。在岩体边缘可见到残留顶盖,岩体边部见有大量的围岩捕虏体或围岩残留体。岩体中普遍见有较多的包体,遍布整个岩体内,成分为石英闪长岩、闪长岩、黑云斜长岩等。大多呈圆形、椭圆形,其次为长条形、圆三角形、不规则状等,大小不一,最大直径可达40 cm以上,小者1~2 cm,以10~20 cm居多。这3个岩体的岩石组成单一,均为英云闪长岩,有少量石英闪长岩。岩体中有少量石英闪长岩、闪长玢岩、花岗闪长斑岩等脉岩,偶见花岗伟晶岩脉。脉岩走向大多为NW向和NE向。

多拉纳萨依及沃多克金矿含矿脉岩规模大小不一,大者长可达1 km以上,小者一般为十几米,厚度一般小于2 m,脉岩走向大多与围岩片理、糜棱岩化面理走向一致,脉岩与围岩一同经历了较强的韧-脆性剪切变形和绢云母化、硅化、碳酸盐化等蚀变。

2 样品及测试方法

在萨热乌增岩体西南部英云闪长岩和沃多克

金矿含矿石英闪长岩中分别采样挑选锆石,样品编号分别为09HTW2和09HTW1,采样位置分别为: E 85°59'20", N 48°21'39"; E 85°58'49", N 48°22'22"。在天津地质矿产研究所进行LA-ICP-MS锆石U-Pb定年,分析结果分别见表1~2。岩石全分析样品分别采自沃多克金矿含矿石英闪长岩、萨热乌增英云闪长岩和多拉纳萨依金矿含金石英闪长岩,在核工业地质分析测试研究中心分析,主量和微量分析结果见表3。

在萨热乌增岩体采集的样品(09HTW2)主要矿物为斜长石(65%±),次为石英(25%±)和黑云母(10%±),另见少量白云母及副矿物等。斜长石为中长石,呈半自形粒状-板状,粒径0.5~2 mm,内部常见环带构造(图2-a),被次生绢云母等交代。石英呈他形粒状,粒径0.3~1.5 mm,充填在斜长石粒间。云母中多为黑云母,白云母少见,片状,0.2~1.2 mm,分布在长石、石英矿物之间。副矿物可见锆石、磷灰石及金属矿物。根据前人的研究成果,组成这些岩体的岩石中局部含有少量微斜长石(一般小于2%)及角闪石(1%~3%)。

在沃多克金矿地表采坑主要含金脉岩中采集的样品(09HTW1)主要由斜长石(20%±)、绢云母-白云母(35%±)、石英(20%±)、微粒长英矿物(20%±)以及白云母(1%)、绿泥石(1%)金属矿物(2%)等组成。岩石经历了糜棱岩化作用,原生矿物除部分斜长石和石英仍被保留外,其余矿物均被新生矿物绢云母、绿泥石及细粒长英矿物集合体取代,原生结构特点不明显,镜下偶尔可见斜长石与石英连生在一起。斜长石呈半自形-他形粒状,粒径0.2~0.6 mm,具有压扁拉长的特点,定向分布,并被绢云母交代。石英多呈拉长外形,形似眼球,具波状消光及碎粒化,定向分布(图2-b、c),局部在黄铁矿边部可见梳状石英(图2-d)。石英粒径0.4~1.0 mm。重结晶作用形成的矿物数量较多,主要为绢-白云母、绿泥石及细粒长英矿物集合体,绢-白云母呈鳞片-片状集合体,呈不规则条带状定向分布。其间可见少量的绿泥石和白云母。长英矿物集合体多见于粗粒石英两端或在绢云母集合体中。岩石局部碳酸岩化较强(图2-b)。

①王宏君,胡建卫,程建新,等.新疆哈巴河县萨尔布拉克—齐叶一带1:5万区域地质矿产调查报告.1988.

表2 沃多克金矿含锆石英闪长岩锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄测定结果
Table 2 LA-ICP-MS U-Pb dating results of zircon from granite in the quartz diorite of the Vodok gold deposit

样品号	含量/10 ⁻⁶		同位素比值						年龄/Ma						
	Pb	U	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U(±%)	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U(±%)	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb(±%)	²⁰⁸ Pb/ ²³² Th(±%)	²³² Th/ ²³⁸ U(±%)	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U(±1σ)	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U(±1σ)	年龄/Ma					
09HTW1															
1	12	251	0.0466	0.3380	2.96	0.0526	2.94	0.0143	1.20	0.3822	0.43	294	2	296	9
2	19	397	0.0481	0.3534	2.44	0.0533	2.37	0.0140	1.46	0.2217	0.52	303	3	307	7
3	18	375	0.0471	0.3442	2.89	0.0530	2.73	0.0147	1.50	0.3797	0.50	296	2	300	9
4	23	478	0.0473	0.3489	2.64	0.0535	2.51	0.0176	1.38	0.2936	1.08	298	2	304	8
5	11	174	0.0477	0.4527	3.46	0.0688	3.37	0.0276	1.05	0.8225	0.59	301	3	379	13
6	12	146	0.0775	0.6135	2.77	0.0574	2.72	0.0248	1.16	0.4484	0.52	481	4	486	13
7	7	161	0.0469	0.3426	3.67	0.0528	3.54	0.0151	1.79	0.2895	0.32	295	3	299	11
8	19	365	0.0540	0.4051	2.72	0.0544	2.69	0.0227	1.73	0.1738	0.61	339	3	345	9
10	11	211	0.0490	0.3871	3.76	0.0572	3.90	0.0325	1.60	0.2157	0.45	309	3	332	12
11	7	101	0.0525	0.4869	5.28	0.0672	5.13	0.0541	1.16	0.3753	1.51	330	3	403	21
13	47	938	0.0497	0.3680	2.26	0.0537	2.21	0.0154	1.26	0.3520	0.37	313	2	318	7
16	4	100	0.0437	0.3237	5.22	0.0538	5.12	0.0061	2.19	0.8297	0.76	275	3	285	15
17	4	87	0.0481	0.3539	7.74	0.0533	7.28	0.0171	2.72	0.3396	0.56	303	3	308	24
19	7	129	0.0524	0.4452	4.49	0.0616	4.10	0.0202	2.30	0.4148	0.44	330	4	374	17
20	24	494	0.0451	0.3308	2.36	0.0531	2.33	0.0146	1.06	0.5375	0.87	285	2	290	7
21	5	114	0.0452	0.3325	4.66	0.0533	4.53	0.0152	1.21	0.3169	0.54	285	3	292	14
22	6	120	0.0508	0.3706	5.08	0.0530	5.01	0.0208	2.44	0.2352	0.47	319	3	320	16

表3 萨热乌增岩体及含金石英闪长岩脉主量(%)和微量(10^{-6})元素含量
Table 3 Major (%) and trace (10^{-6}) element content of Sarewuzeng rock and quartz diorite

分析项目	沃多克金矿		萨热乌增岩体		多拉纳萨依金矿		分析项目	沃多克金矿		萨热乌增岩体		多拉纳萨依金矿	
	石英闪长岩		英云闪长岩		石英闪长岩			石英闪长岩		英云闪长岩		石英闪长岩	
	09H-1	09H-2	09H-3	09H-4	09H-5	09H-6		09H-1	09H-2	09H-3	09H-4	09H-5	09H-6
SiO ₂	63.57	64.45	69.39	69.37	65.96	65.97	Li	34	25.9	37.1	27.9	12.9	8.39
TiO ₂	0.37	0.41	0.4	0.38	0.45	0.45	Be	1.29	1.38	1.69	1.57	1.87	0.946
Al ₂ O ₃	15.18	15.64	13.43	13.41	14.53	15.71	Sc	6.14	6.47	4.03	3.7	5.28	4.8
Fe ₂ O ₃	0.71	1.29	1.42	1.05	1.45	1.98	V	60.2	69.3	25.4	23.4	45.7	51.4
FeO	2.95	2.7	3.55	3.9	1.95	0.85	Cr	14	15.1	6.27	6.5	14	11.5
MnO	0.053	0.082	0.14	0.15	0.088	0.047	Co	9.08	9.03	6.16	5.13	8.6	6.84
MgO	1.16	1.17	0.88	0.86	1.12	1.28	Ni	9.38	9.15	6.4	8.06	7.89	6.08
CaO	4.55	3.62	2.38	2.55	3.66	2.46	Cu	30.5	70.4	16.5	16.5	82.6	18.5
Na ₂ O	3.02	3.16	4.08	4.15	4.65	4.46	Zn	139	346	241	75.1	83.9	48.1
K ₂ O	2.24	2.66	2.22	2.16	2.05	3	Ga	16.6	17.9	17.3	16.3	15.9	16.8
P ₂ O ₅	0.13	0.13	0.15	0.15	0.16	0.14	Rb	65.1	73.5	75.2	73.1	64.6	74
烧失量	5.87	4.57	1.84	1.79	3.81	3.43	Sr	386	316	271	257	354	271
总量	99.803	99.882	99.88	99.92	99.878	99.777	Ba	148	149	265	283	197	178
A/CNK	0.97	1.07	1.00	0.97	0.88	1.04	Y	4.19	4.15	22.5	22.9	8.3	5.76
Na ₂ O/K ₂ O	1.35	1.19	1.84	1.92	2.27	1.49	Zr	47.4	48.4	64	61.1	244	227
La	8.98	9.94	24.9	23.6	15.6	13	Nb	1.94	2.13	8.81	7.67	4.15	2.15
Ce	17.7	19.7	56.8	51.9	33.4	27.9	Mo	0.431	0.753	0.566	0.515	1.57	17.5
Pr	2.23	2.41	7.31	6.86	4.39	3.61	Cd	0.167	0.338	0.291	0.129	0.097	0.128
Nd	8.64	10	28	26.9	17.2	13.6	In	0.034	0.026	0.044	0.043	0.039	0.019
Sm	1.43	1.65	5.04	5.15	3.12	2.21	Sb	1.06	1.01	0.255	0.219	0.706	0.512
Eu	0.453	0.438	1.36	1.25	0.838	0.629	Cs	3.4	3.49	5.06	5.17	2.9	3.45
Gd	1.23	1.34	4.35	4.04	2.8	1.75	Hf	1.87	1.95	2.67	2.38	5.9	5.66
Tb	0.153	0.177	0.752	0.702	0.367	0.242	Ta	0.17	0.175	0.755	0.705	0.39	0.173
Dy	0.767	0.782	4.85	4.44	1.68	1.11	Tl	0.574	0.78	0.72	0.509	0.492	0.552
Ho	0.14	0.162	0.87	0.853	0.292	0.217	Pb	31.1	75.2	61.5	14.6	32.7	9.16
Er	0.435	0.484	2.6	2.33	0.75	0.533	Bi	0.029	0.125	0.028	0.025	0.196	0.113
Tm	0.059	0.054	0.4	0.352	0.128	0.083	Th	1.95	2.21	7.81	6.46	2.77	2.75
Yb	0.384	0.388	2.48	2.47	0.784	0.5	U	0.365	0.871	1.04	0.9	1.27	2.1
Lu	0.061	0.052	0.368	0.342	0.105	0.083							
ΣREE	42.662	47.577	140.08	131.189	81.454	65.467							
δEu	1.02	0.87	0.87	0.81	0.85	0.95							

3 分析结果

3.1 锆石U-Pb年龄

2个样品中锆石多为无色透明的长柱状,有部分短柱状及板状锆石。多数锆石发育振荡环带,具明显岩浆锆石特征;少数锆石中发育核,并且具有熔蚀现象(图3~4)。但石英闪长岩中锆石长宽比略大,板状锆石少。长柱状锆石特征与玛因鄂博构造

带中花岗质糜棱岩中的锆石特征^[9]非常相似,其中的环带构造不明显,但纵纹发育。其形态特征表明其形成可能与韧性剪切变形作用有一定的关系。

英云闪长岩和石英闪长岩中锆石Th/U比值均较高,分别为0.32~0.98和0.17~0.83,具有岩浆锆石Th/U比值特征,与锆石的形态特征一致。

萨热乌增英云闪长岩19个测点的²⁰⁶Pb/²³⁸U表面年龄较为集中,大多数为300~322 Ma,其中16个

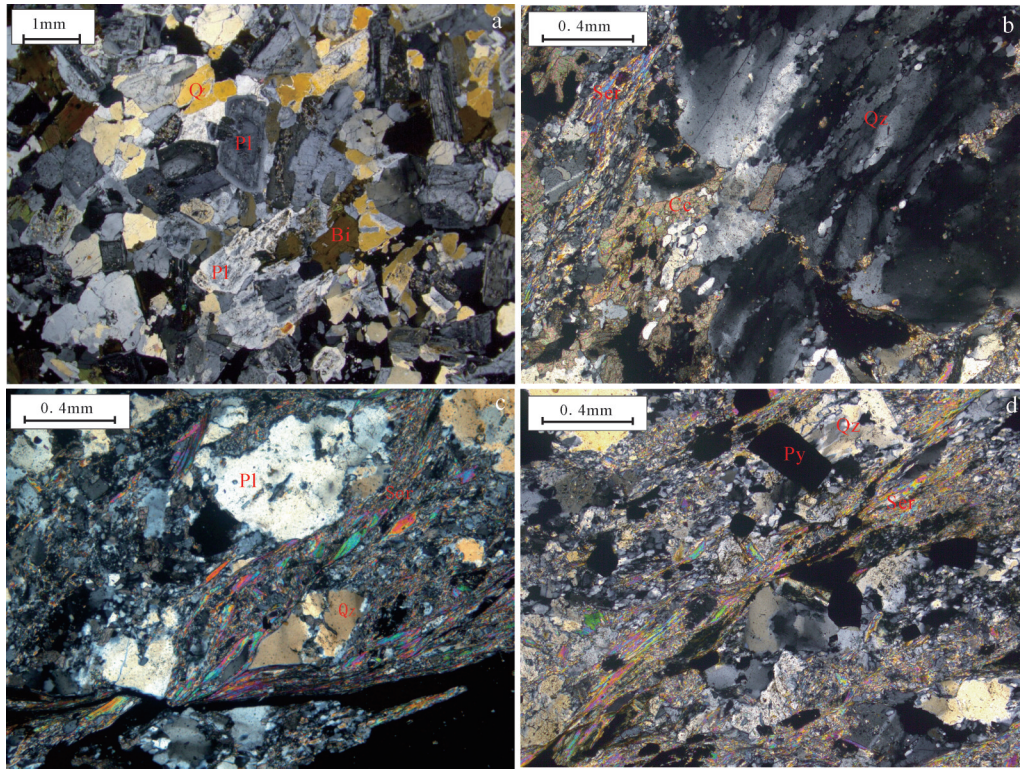


图2 样品显微镜下特征

a—萨热乌增岩体英云闪长岩, 自形-半自形粒状结构, 部分斜长石具环带结构; b、c、d—沃多克金矿糜棱岩化蚀变石英闪长岩, b—石英定向拉长, 具波状消光、碎粒化, 岩石局部碳酸盐化较强, c—较大石英颗粒呈眼球状, d—绢云母呈不规则条带状之定向分布, 黄铁矿边部见梳状石英; Pl—斜长石; Qz—石英; Bi—黑云母; Ser—绢云母; Cc—方解石; Py—黄铁矿

Fig. 2 Sample features under the microscope

a—Sarewuzeng tonalite, euhedral to subhedral granular structure, some plagioclase with zonal structure; b, c, d—Vodok gold mylonitic quartz diorite, b—Quartz directionally elongated, with wavy extinction, pieces of rock, strong local carbonation, c—Large quartz grains in augen form; d—Sericite irregular banded, directional distribution, orientation distribution, the comb quartz pyrite of the pyrite's edge; Pl—Plagioclase; Qz—Quartz; Bi—Biotite; Ser—Sericite; Cc—Calcite; Py—Pyrite

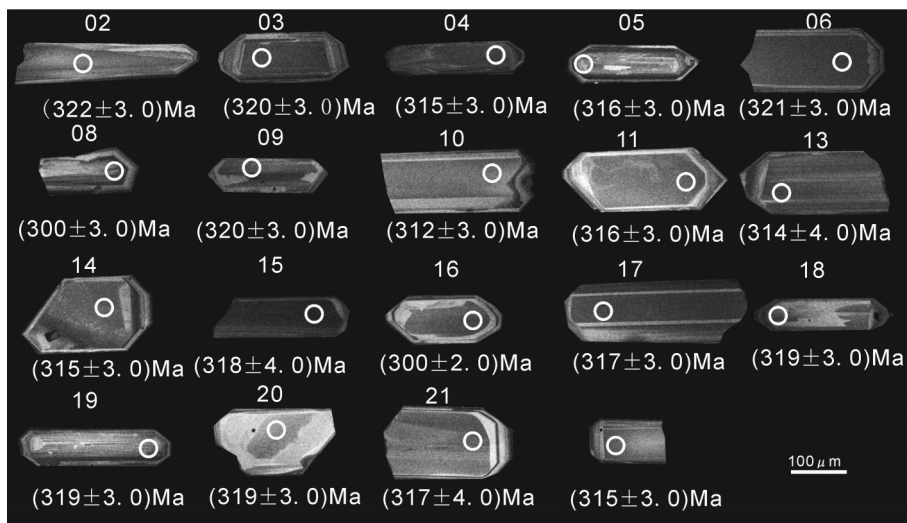


图3 萨热乌增岩体英云闪长岩中锆石阴极发光照片

Fig. 3 Characteristics of zircons from tonalite of the Sarewuzeng rock

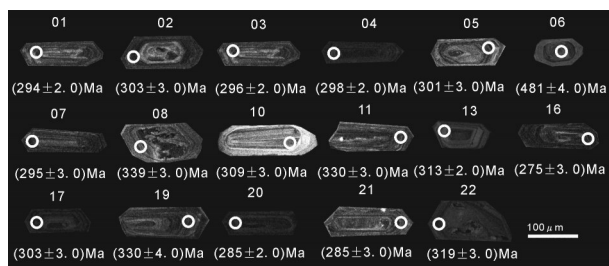


图4 沃多克金矿含金石英闪长岩中锆石阴极发光照片
Fig.4 Characteristics of zircons from quartz diorite of the Vodok gold deposit

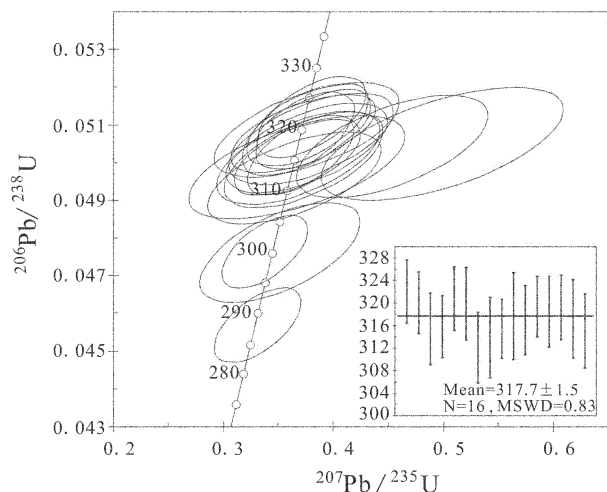


图5 萨热乌增岩体英云闪长岩锆石U-Pb年龄谐和图
Fig.5 Zircon U-Pb concordia diagrams of tonalite from the Sarewuzeng rock

测点的加权平均年龄为 (317.7 ± 1.5) Ma, $MSWD=0.83$ 。在锆石U-Pb年龄谐和图(图5)上,大多数测点位于谐和线上。

沃多克金矿石英闪长岩17个测点的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄较为分散,为275~481 Ma,其中多数测点 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄在300 Ma \pm 。其中8个测点的加权平均年龄为 (299.4 ± 4.1) Ma, $MSWD=3.6$ 。在锆石U-Pb年龄谐和图(图6)上,大多数测点位于谐和线上,少数测点处于谐和线附近。6号测点(481 Ma)虽然也处于谐和曲线上,但其可能为捕获锆石的年龄。

3.2 岩体地球化学特征

多拉纳萨依金矿一带岩体及含金石英闪长岩主量及微量元素含量见表3。

由表3可以看出,采自萨热乌增岩体的2个样品各氧化物含量基本一致,其 SiO_2 含量明显高于含

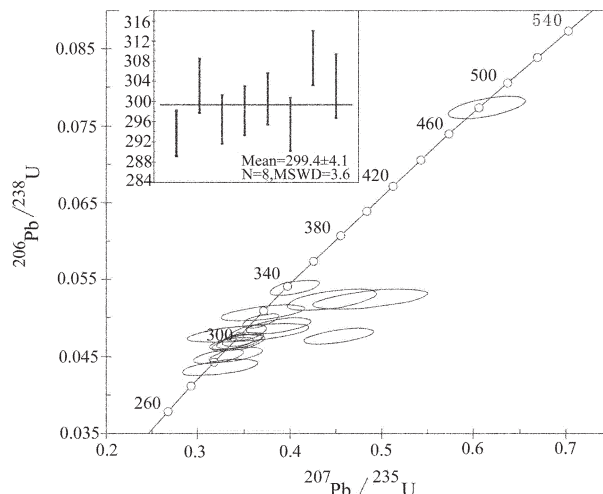


图6 沃多克金矿石英闪长岩锆石U-Pb年龄谐和图
Fig.6 zircon U-Pb concordia diagrams of quartz diorite from the Vodok gold deposit

金石英闪长岩脉,分别为69.37%和69.39%;其铁含量略高于含金石英闪长岩,镁、铝低于含金石英闪长岩。采自多拉纳萨依金矿的含金石英闪长岩脉中 SiO_2 含量略高于沃多克金矿含金石英脉,前者分别为65.96%和65.97%,后者分别为63.57%和64.45%。石英闪长岩中具有较高的 SiO_2 含量可能与岩石普遍具有硅化蚀变有关。多拉纳萨依与沃多克金矿含金石英闪长岩相比,具有相对较高的 Na_2O 和相对较低的 CaO 含量。沃多克金矿石英闪长岩 $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ 含量最低,为5.26%~5.82%,多拉纳萨依金矿石英闪长岩 $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ 含量最高,为6.7%~7.46%,萨热乌增岩体英云闪长岩介于二者之间。所有岩石中 Na_2O 含量略高于 K_2O , $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ 比值为1.19~2.27。铝饱和指数 A/CNK 值为0.88~1.07,英云闪长岩和闪长岩中均出现有 ≥ 1 的样品,但均小于1.1,仍属于准铝质岩石,具有由I型向S型花岗岩过渡的岩石化学特征。

英云闪长岩中稀土元素含量明显高于石英闪长岩脉。前者 $\sum \text{REE}$ 为 131.189×10^{-6} ~ 140.08×10^{-6} ,后者 $\sum \text{REE}$ 为 42.662×10^{-6} ~ 81.454×10^{-6} ,且多拉纳萨依金矿含金石英闪长岩稀土元素含量略高于沃多克金矿。多数样品具有不明显的铕负异常(δEu 值为0.81~0.95),仅沃多克金矿1件石英闪长岩样品 δEu 值为1.02。英云闪长岩和石英闪长岩均为轻稀土富集,前者 $(\text{La}/\text{Yb})_N$ 值为6.46~6.78,后者 $(\text{La}/\text{Yb})_N$ 值为13.45~17.57。在稀土元素配分型式图(图7)

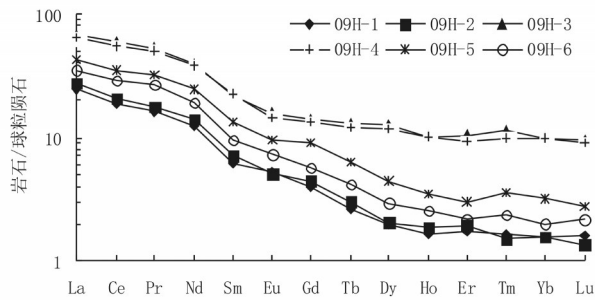


图7 多拉纳萨依金矿一带英云闪长岩和石英闪长岩稀土配分型式图

Fig.7 REE patterns of the tonalite and quartz diorite from the Dolanasayi gold deposit

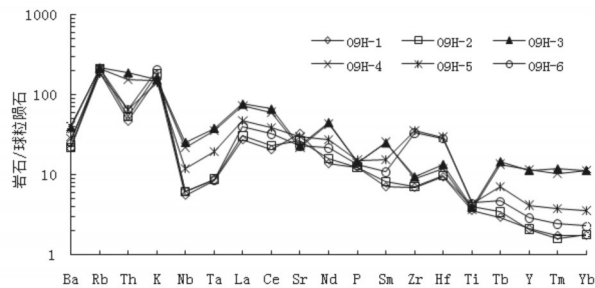


图8 多拉纳萨依金矿一带英云闪长岩和石英闪长岩微量元素蛛网图

Fig.8 Trace element spider diagram of tonalite and quartz diorite from the Dolanasayi gold ore district

上,配分曲线呈右倾型,轻稀土明显富集,但英云闪长岩的富集程度明显低于石英闪长岩,其重稀土曲线较平缓。多拉纳萨依石英闪长岩与沃多克石英闪长岩的曲线形态基本一致,说明其可能为同期同源岩浆活动的产物,而与英云闪长岩有明显区别。

英云闪长岩与含金石英闪长岩相比,Nb、Ta、Y等高场强元素明显略高,而V、Cr、Co等相容元素略低。从微量元素球粒陨石标准化蛛网图(图8)上可以看出,英云闪长岩和石英闪长岩中Rb、Th、K、La、Ce等元素富集程度较高,而高强度元素富集程度较低,特别是石英闪长岩中,高强度元素和重稀土元素大多不到球粒陨石的10倍,而英云闪长岩中这些元素含量明显要高一些,在球粒陨石的10倍以上。所有岩石中均具有Nb、Ta以及Ba、Ti等元素负异常。英云闪长岩中Ti负异常更明显,并同时具有P、

Sr等元素负异常,说明岩浆演化过程发生过钛铁矿、磷灰石和斜长石的分离结晶或其源岩部分熔融时这些矿物在源区残留较多。石英闪长岩中Ti元素负异常较英云闪长岩弱,且无明显的P异常,具弱的正Sr异常或无明显异常,具有明显的Th负异常,说明没有磷灰石及斜长石的分离结晶。微量元素特征同样说明不同金矿区的含金石英闪长岩具有相同的岩浆演化特征,而与英云闪长岩明显不同。

4 讨论

4.1 岩体形成时代

前人对萨热乌增岩体进行同位素年龄测定,其K-Ar同位素年龄为228 Ma,其东部柯拉巴依岩体和东格勒克岩体K-Ar同位素年龄分别为233 Ma和261 Ma^①。东格勒克岩体全岩Rb-Sr等时线年龄为(297±11) Ma^[2],锆石U-Pb谐和曲线下交点年龄为(289±5) Ma^[8]。虽然各岩体年龄不完全一致,但均认为其为同一时期形成的同源岩浆岩体。K-Ar同位素年龄反映的往往是晚期构造-热事件的年龄,全岩Rb-Sr等时线年龄可能反映的是早二叠世区域上的构造岩浆活动对该岩体的影响。在经历过后期的区域构造-岩浆活动和变质作用的岩体,其K-Ar同位素年龄和Rb-Sr等时线年龄并不代表岩体的形成年龄。本次所测定的锆石U-Pb年龄,各测点²⁰⁶Pb/²³⁸U年龄较为集中,其中16个测点的加权平均年龄为(317.7±1.5) Ma,年龄误差小,可信度高,基本上可以代表岩体的结晶年龄,即该岩体形成于晚石炭世。

近年来对阿尔泰造山带花岗岩形成时代的研究中,普遍的同位素年龄为中奥陶世—中晚泥盆世(460~370 Ma)^[10-14]或为早二叠世^[15-17]。石炭纪花岗岩广泛出露于额尔齐斯构造带以南的准噶尔地区^[18],而额尔齐斯构造带以北鲜有石炭纪花岗岩的报道,仅哈巴河岩体北侧的阿勒青巴依岩体(阿什勒岩体)花岗闪长岩的LA-ICP-MS锆石U-Pb年龄为(318±6) Ma^[12],与萨热乌增岩体形成时代一致。表明在额尔齐斯构造带以北的阿尔泰造山带内,石炭纪虽然不存在大规模的岩浆侵入活动,但晚期在局部地段有岩浆侵入。

沃多克金矿含金石英闪长岩样品虽然锆石的

①王宏君,胡建卫,程建新,等.新疆哈巴河县萨尔布拉克—齐叶—带1:5万区域地质矿产调查报告.1988.

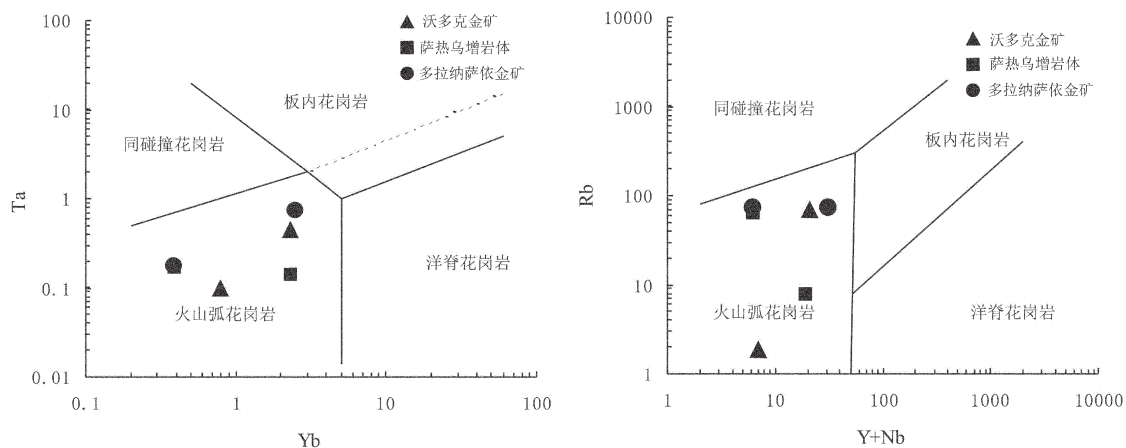


图9 花岗岩 Yb-Ta 和 Y+Nb-Rb 构造环境判别图解

Fig.9 Discrimination diagram of Yb-Ta, Y+Nb-Rb of granite tectonic environment

$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄较为分散,除 481 Ma 显然应为捕获锆石的年龄外,其他测点的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄为 275~339 Ma,但多数测点在 300 Ma \pm ,其中 8 个测点的加权平均年龄为 (299.4 \pm 4.1) Ma,基本上可以代表该含金脉岩的侵位年龄,形成于晚石炭世末—早二叠世初期。

4.2 岩体形成的构造环境

利用一些地球化学判别图解对哈巴河一带花岗质岩石进行构造环境判断,在 Yb-Ta、(Y+Nb)-Rb 等微量元素判别图解(图 9)中,所有岩石样品均落在火山弧花岗岩区。

由于阿尔泰造山带内普遍缺失晚石炭世地层,该时期哈萨克斯坦—准噶尔板块已与西伯利亚板块碰撞对接为统一大陆,处于抬升剥蚀阶段。萨热乌增岩体和含金石英闪长岩脉分别形成于晚石炭世和晚石炭世末—早二叠世初,应为板内构造环境,显然不属于火山弧环境。在古亚洲洋的闭合过程中,由于早古生代—泥盆纪哈萨克斯坦—准噶尔板块向西伯利亚板块俯冲造山,在阿尔泰南缘形成大量泥盆纪火山岩,火山岩的源岩具有新生地壳特征^[19]。因而阿尔泰南缘深部可能主要为新生地壳,而晚石炭—早二叠世花岗质岩石源岩可能主要为具有火山弧特征的新生地壳物质,因而显示出火山弧花岗岩相似的地球化学特征。

萨热乌增岩体与东格勒岩体、柯拉巴依岩体岩石组成完全相同,前人的研究表明其为同一时期、

同一岩浆活动的产物^{[8] ①②},萨热乌增岩体形成于 317 Ma,表明该岩体群均形成于晚石炭世。前面已叙述阿尔泰造山带内仅在西部哈巴河一带发现有石炭纪花岗岩,明显不同于准噶尔地区。韩宝福等认为:准噶尔地区主要发育后碰撞花岗岩,东准噶尔后碰撞深成岩浆活动发生在 330~265 Ma,而西准噶尔后碰撞深成岩浆活动的时限在 340~275 Ma^[18]。虽然目前大多数学者认为阿尔泰造山带后碰撞时限为早石炭世晚期—早二叠世末^[18, 20~21]。但还存在一些争议,王涛等认为后碰撞时限从早石炭纪晚期—早二叠世末时间过长,而将早二叠岩体活动视为后造山环境,以区别于后碰撞环境^[22];周刚等通过对乌图布拉克岩体的研究,认为阿尔泰造山带后碰撞时限为泥盆纪末—石炭纪末^[23]。无论持何种观点,石炭纪处于后碰撞时期似乎不存在争议。萨热乌增英云闪长岩形成时代的确定,表明额尔齐斯构造带以北的阿尔泰造山带内也存在后碰撞花岗岩。

额尔齐斯构造带以南的准噶尔地区发育大量的石炭—二叠纪花岗岩,西准噶尔花岗岩同位素年龄峰值主要出现有两期,一期为早石炭世(340~320 Ma),一期为晚石炭世—早二叠世(310~270),后一期主要集中于 300 Ma 左右^[18, 24];而东准噶尔花岗岩除个别的泥盆纪末岩体^[23]外,主要形成于晚石炭世—早二叠世,且主要集中于 300~270 Ma,个别为 320 Ma 左右^[18, 24~25]。显然石炭—二叠纪不是一个持续的

①王宏君,胡建卫,程建新,等.新疆哈巴河县萨尔布拉克—齐叶—带 1:5 万区域地质矿产调查报告.1988.

②杨文平,张传林,秦纪华,等.新疆哈巴河县呼吉尔特—带 1:5 万区域地质矿产调查报告.1994.

岩浆活动过程,不应作为同一个构造背景的产物,且后碰撞往往距同碰撞时期一般较短^[26],阿尔泰主碰撞造山时间为400~360 Ma^[10,27]。结合前人研究成果分析,阿尔泰造山带后碰撞阶段可能于早石炭世末—晚石炭世初(320 Ma±)结束,其时限可能为360~317 Ma。多拉纳萨依金矿一带出露的英云闪长岩体群可能为后碰撞晚期岩浆活动的代表。而石炭末—早二叠世形成的岩体属于造山后构造背景下的岩浆活动^[28-30]。

4.3 岩体与金成矿关系

前人在对分布于哈巴河一带的多拉纳萨依、赛都(托库孜巴依)等金矿进行研究时,往往认为岩体的侵位晚于金矿的形成或近同时形成,岩体侵入为金矿的形成提供了物质和热源^[1-6]。而这些金矿的成矿时代为晚石炭世末至早二叠世^[31-32],受额尔齐斯巨型剪切带区域性韧性剪切相伴的构造—岩浆热事件控制^[33-34]。哈巴河岩体形成于早泥盆纪^[7],萨热乌增岩体形成于晚石炭世,表明这些岩体的形成早于金矿的形成时代。金元素活化迁移富集所需热源不应归为哈巴河和萨热乌增等岩体的侵位。认为其含矿石英闪长岩脉是哈巴河岩体岩浆活动派生的也显得很牵强。因而岩体的形成与金矿成矿的关系已不是以前想象的那么密切了。

沃多克金矿与多拉纳萨依金矿分别位于萨热乌增岩体的北西侧和南东侧,其成矿特征与多拉纳萨依金矿、赛都金矿基本一致^①,金矿产于韧—脆性剪切变形带中,石英闪长岩脉为主要含矿地质体。由前述可知,沃多克金矿石英闪长岩脉与多拉纳萨依金矿石英闪长岩具有基本一致的地球化学特征,应为同一期岩浆活动的产物。李华芹等测得多拉纳萨依金矿石英闪长岩脉的单颗粒锆石表面蒸发Pb—Pb年龄为(371±21) Ma,斜长花岗岩脉的全岩Rb—Sr等时线年龄为(352±40) Ma,矿体中含石英脉流体包裹体Rb—Sr等时线年龄(269±13) Ma^[8]。这些年龄数据误差均较大,难以代表脉岩的形成年龄和成矿年龄。沃多克金矿含金石英闪长岩形成于299.4 Ma,应基本限定了成矿作用的时间下限,成矿作用应不早于该脉岩的形成时间,即沃多克金矿的形成时代不早于300 Ma。闫升好等测得多拉纳萨依和赛都金矿含金蚀变岩中的绢云母Ar—Ar同位素

坪年龄分别为(292.8±1.0) Ma和(289.2±3.1) Ma^[31]。由此可以推断,沃多克和多拉纳萨依金矿的主要成矿时期为300~290 Ma,为晚石炭世末—早二叠世。对于赛都金矿的成矿时代,前人的资料还有黑云母Ar—Ar法年龄为(270±2.5) Ma^[32];含矿蚀变岩中黑云母和白云母的K—Ar法年龄为(294.7±3.5) Ma~(316.5±3.2) Ma,含金蚀变闪长岩中白云母K—Ar年龄为(294.7±3.5) Ma^[2,4];含金石英脉LA—ICP—MS锆石U—Pb同位素年龄310 Ma^[35]。这些年龄表明哈巴河一带金矿的成矿时代可能为310~270 Ma,主要为290 Ma左右^[31,36]。由此可见,哈巴河一带金矿主要的含矿地质体—石英闪长岩脉形成于300 Ma左右,而成矿的主要时期为290 Ma左右。

5 结 论

(1)多拉纳萨依金矿一带英云闪长岩体形成于晚石炭世(317 Ma),属于后碰撞花岗岩。

(2)沃多克金矿主要含矿地质体石英闪长岩形成时代的确定(299.4 Ma),基本限定了多拉纳萨依一带金矿形成时代的下限,即其形成时代不早于300 Ma。

(3)岩石地球化学特征表明沃多克和多拉纳萨依金矿含金石英闪长岩特征基本一致,属同一期岩浆活动的产物,明显不同于萨热乌增英云闪长岩。

(4)哈巴河一带金矿形成时代可能为310~270 Ma,成矿作用的主要时期为290 Ma左右,成矿作用晚于萨热乌增岩体等的形成,金的成矿作用与该期区域大规模花岗岩体的侵位无关。

致谢: 矿产资源研究所杨富全研究员对论文的编写提出了建设性意见,南京地质矿产研究所张传林研究员在同位素测年方面给予了帮助,新疆矿产实验研究所对薄片显微照相提供了帮助,匿名审稿人提出了宝贵的修改意见,在此一并表示衷心的感谢。

参考文献(References):

- [1] 汪玉珍,刘玉琳.新疆多拉金矿床成因探讨[J].新疆地质,1992,10(2):101-108.
Wang Yuzheng, Liu Yuling. Genesis of Dola gold deposit in Xinjiang[J]. Xinjiang Geology, 1992, 10(2): 101-108(in Chinese with English abstract).
- [2] 芮行健,朱韶华,刘抗娟.新疆阿尔泰原生金矿基本特征及区域

① 吴福,郑开平,赵华.新疆哈巴河县沃多克金矿普查报告.2009.

- 成矿模式[J]. 地质论评, 1993, 39(2): 138-148.
- Rui Xingjian, Zhu Shaohua, Liu Kangjuan. The main characteristics and regional metallogenic model of Altay primary gold deposits in Xinjiang[J]. Geological Review, 1993, 39(2): 138-148 (in Chinese with English abstract).
- [3] 顾巧根, 欧沛宁. 多拉纳萨依金矿床的地质、地球化学特征及成因探讨//芮行健主编: 新疆阿尔泰金矿床论文集[C]. 北京: 地质出版社, 1994: 6-23.
- Gu Qiaogen, Ou Peining. Geological and geochemical characteristics and genesis of Duo lanasayi gold deposit[C]//Rui Xingjian(ed.). Treatises on Gold Deposits in Altay, Xinjiang. Beijing: Geological Publishing House, 1994: 6-23(in Chinese with English abstract).
- [4] 程忠富, 芮行健. 哈巴河县赛都金矿成矿特征[J]. 新疆地质, 1996, 14(3): 247-254.
- Cheng Zhongfu, Rui Xingjian. Metallogenic characteristics of Saidu gold deposit in Habahe County[J]. Xinjiang Geology, 1996, 14(3): 247-254 (in Chinese with English abstract).
- [5] 郑勇, 吕新彪, 成勇. 新疆托库孜巴依金矿床地质特征及成因[J]. 地质科技情报, 2010, 29(2): 123-129.
- Zheng Yong, Lu Xinbiao, Cheng Yong. Geology and genesis of Tuokuzibayi gold deposit, Xinjiang[J]. Geological Science and Technology Information, 2010, 29(2): 123-129(in Chinese with English abstract).
- [6] 田晓云, 肖国莲. 新疆哈巴河县托库孜巴依金矿地质特征及成因浅析[J]. 新疆地质, 2007, 25(3): 258-262.
- Tian Xiaoyun and Xiao Guolian. Geological characteristics and genetic analysis of Tukuzbauy gold deposit in Habahe County, Xinjiang[J]. Xinjiang Geology, 2007, 25(3): 258-262 (in Chinese with English abstract).
- [7] 李永, 周刚, 柴凤梅. 阿尔泰南缘哈巴河岩体 LA-ICP-MS 锆石定年及地质意义[J]. 新疆地质, 2012, 30(2): 146-151.
- Li Yong, Zhou Gang, Chai Fengmei. LA-ICP-MS U-Pb ages and geological implications of the Habahe pluton at the Southern Margin of the Altay, Xinjiang[J]. Xinjiang Geology. 2012, 30(2): 146-151.
- [8] 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, 26-220.
- 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: 26-220 (in Chinese with English abstract).
- [9] 周刚, 张招崇, 王新昆, 等. 新疆玛因鄂博断裂带中花岗质糜棱岩的锆石 U-Pb SHRIMP 和黑云母 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 同位素年龄及地质意义[J]. 地质学报, 2007, 81(3): 359-369.
- Zhou Gang, Zhang Zhaocong, Wang Xinkun, et al. Zircon U-Pb SHRIMP and $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ dating of the granitic mylonite in the Mayinebo Fault Belt of north Xinjiang and its geological significance[J]. Acta Geologica Sinica, 2007, 81(3): 359-369(in Chinese with English abstract).
- [10] Wang T, Hong D W, Jahn B M, et al. Timing, Petrogenesis, and setting of Paleozoic synorogenic intrusions from the Altai Mountains, Northwest China: Implications for the tectonic evolution of an Accretionary Orogen[J]. The Journal of Geology, 2006, 2114: 735-751.
- [11] 童英, 王涛, 洪大卫, 等. 中国阿尔泰北部山区早泥盆世花岗岩的年龄、成因及构造意义[J]. 岩石学报, 2007, 23(8): 1933-1944.
- Tong Ying, Wang Tao, Hong Dawei, et al. Ages and origin of the early Devonian granites from the north part of Chinese Altai Mountains and its tectonic implications[J]. Acta Petrologica Sinica, 2007, 23(8): 1933-1944(in Chinese with English abstract).
- [12] Yuan C, Sun M, Xiao W J, et al. Accretionary orogenesis of the Chinese Altai: Insights from Paleozoic granitoids[J]. Chemical Geology, 2007, 242: 22-39.
- [13] 杨富全, 毛景文, 闫升好, 等. 新疆阿尔泰蒙库同造山斜长花岗岩年代学、地球化学及其地质意义[J]. 地质学报, 2008, 82(4): 485-499.
- Yang Fuquan, Mao Jingwen, Yan Shenghao, et al. Geochronology-Geochemistry and Geological Implications of the Mengku Synorogenic Plagiogranite Pluton in Altay - Xinjiang[J]. Acta Geologica Sinica, 2008, 82(4): 485-499(in Chinese with English abstract).
- [14] Yang Fuquan, Mao Jingwen, Liu Feng, et al. Geochronology and geochemistry of the granites from the Mengku iron deposit, Altai Mountains, northwest China: implications for its tectonic setting and metallogenesis[J]. Australian Journal of Earth Sciences, 2010, 57(6): 803-818.
- [15] 童英. 阿尔泰造山带晚古生代花岗岩年代学、成因及其地质意义[D]. 中国地质科学院博士学位论文. 2006.
- Tong Ying. Geochronology, Origin of the Late Paleozoic Granitoids from the Altai Orogen in China and their Geological Significance[D]. Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences Ph.D. Dissertation. 2006(in Chinese with English abstract).
- [16] 周刚, 张招崇, 罗世宾, 等. 新疆阿尔泰山南缘玛因鄂博高温型强过铝花岗岩: 年龄、地球化学特征及其地质意义[J]. 岩石学报, 2007, 23(8): 1909-1920.
- Zhou Gang, Zhang Zhaocong, Luo Shibin, et al. Confirmation of

- high temperature strongly peraluminous Mayln' ebo granites in the south margin of Altay, Xinjiang: age, geochemistry and tectonic implications[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2007, 23(8): 1909-1920(in Chinese with English abstract).
- [17] 高福平, 周刚, 雷永孝, 等. 新疆阿尔泰山南缘沙尔布拉克一带早二叠世花岗岩的年龄、地球化学特征及地质意义[J]. *地质通报*, 2010, 29(9): 1281-1293.
- Gao Fuping, Zhou Gang, Lei Yongxiao, et al. Early Permian granite age and geochemical characteristics in Shaerbulake of Xinjiang's Altay area and its geological significance[J]. *Geological Bulletin of China*, 2010, 29(9): 1281-1293(in Chinese with English abstract).
- [18] 韩宝福, 季建清, 宋彪, 等. 新疆准噶尔晚古生代陆壳垂直生长(I)-后碰撞岩浆活动的时限[J]. *岩石学报*, 2006, 22(5): 1077-1086.
- Han Baofu, Ji Jianqing, Song Biao, et al. Late Paleozoic vertical growth of continental crust around the Junggar Basin, Xinjiang, China(Part I): Timing of post-collisional plutonism[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2006, 22(5): 1077-1086(in Chinese with English abstract).
- [19] 柴凤梅. 阿尔泰山南缘与铁矿床有关的泥盆纪火山岩特征研究[D]. 中国地质科学院博士后研究报告. 2010.
- Chai Fengmei. The Devonian Volcanic Rocks Associated with Iron Deposits in South Margin of Altay, Xinjiang[D]. Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Post-Doctor Research Report. 2010.
- [20] 王京彬, 徐新. 新疆北部后碰撞构造演化与成矿[J]. *地质学报*, 2006, 80(1): 23-31.
- Wang Jingbing, Xu Xin. Post-collisional tectonic evolution and metallogenesis in northern Xinjiang, China[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2006, 80(1): 23-31(in Chinese with English abstract).
- [21] 王玉往, 王京彬, 龙灵利, 等. 新疆北部大地构造演化阶段与斑岩-浅成低温热液矿床的构造环境类型[J]. *中国地质*, 2012, 39(3): 695-716.
- Wang Yuwang, Wang Jingbin, Long Lingli, et al. Tectonic evolution stages of northern Xinjiang and tectonic types of porphyry-epithermal deposits[J]. *Geology in China*, 2012, 39(3): 695-716(in Chinese with English abstract).
- [22] 王涛, 洪大卫, 童英, 等. 中国阿尔泰山带后造山喇嘛昭花岗岩体锆石 SHRIMP 年龄、成因及陆壳垂向生长意义[J]. *岩石学报*, 2005, 21(3): 640-650.
- Wang Tao, Hong Dawei, Tong Ying, et al. Zircon U-Pb SHRIMP age and origin of post-orogenic Lamazhao granitic pluton from Altaiorogen: its implications for vertical continental growth[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2005, 21(3): 640-650(in Chinese with English abstract).
- [23] 周刚, 吴淦国, 董连慧, 等. 新疆准噶尔北东缘乌图布拉克岩体形成时代、地球化学特征及地质意义[J]. *岩石学报*, 2009, 25(6): 1390-1402.
- Zhou Gang, Wu Ganguo, Dong Lianhui, et al. Formation time and geochemical feature of Wutubulak pluton in the northeastern margin of Junggar in Xinjiang and its geological significance[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2009, 25(6): 1390-1402(in Chinese with English abstract).
- [24] 童英, 王涛, 洪大卫, 等. 北疆及邻区石炭-二叠纪花岗岩时空分布特征及其构造意义[J]. *岩石矿物学杂志*, 2010, 29(6): 619-641.
- Tong Ying, Wang Tao, Hong Dawei, et al. Spatial and temporal distribution of the Carboniferous-Permian granitoids in northern Xinjiang and its adjacent areas, and its tectonic significance[J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 2010, 29(6): 619-641(in Chinese with English abstract).
- [25] 杨高学, 李永军, 司国辉, 等. 东准库布苏南岩体 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年[J]. *中国地质*, 2008, 35(5): 849-858.
- Yang Gaoxue, Li Yongjun, Si Guohui, et al. LA-ICP-MS zircon U-Pb dating of the Kubusunan granodiorite in the Kalamaili area, eastern Junggar, Xinjiang[J]. *Geology in China*, 2008, 35(5): 849-858(in Chinese with English abstract).
- [26] Sylvester P J. Post-collisional strongly peraluminous granite[J]. *Lithos*, 1998, 45: 29-44.
- [27] 王涛, 童英, 李舫, 等. 阿尔泰山带花岗岩的时空演变、构造环境及地壳生长意义——以中国阿尔泰山为例[J]. *岩石矿物学杂志*, 2010, 29(6): 595-618.
- Wang Tao, Tong Ying, Li Shan, et al. Spatial and temporal variations of granitoids in the Altai orogen and their implications for tectonic setting and crustal growth: examples from the Chinese Altai[J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 2010, 29(6): 595-618(in Chinese with English abstract).
- [28] Zhou M F, Leshner C M, Yang Z X, et al. Geochemistry and petrogenesis of 270 Ma Ni-Cu-(PGE) sulfide-bearing mafic intrusions in the Huangshan district, Eastern Xinjiang, Northwest China: implications for the tectonic evolution of the Central Asian orogenic belt[J]. *Chem. Geol.*, 2004, 209: 233-257.
- [29] 毛景文, Pirajno F, 张作衡, 等. 天山—阿尔泰山东部地区海西晚期后碰撞铜镍硫化物矿床: 主要特点及可能与地幔柱的关系[J]. *地质学报*, 2006, 80(7): 925-942.
- Mao Jingwen, Pirajno Franco, Zhang Zuoheng, et al. Late Variscan post-collisional Cu-Ni sulfide deposits in east Tianshan and Altay in China: Principal Characteristics and possible relationship with mantle plume[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2006,

- 80(7): 925–942(in Chinese with English abstract).
- [30] Zhang C L, Xu Y G, Li Z X, et al. Diverse Permian magmatism in the Tarim Block, NW China: Genetically linked to the Permian Tarim mantle plume? [J]. *Lithos*, 2010, 119: 537–552.
- [31] 闫升好, 陈文, 王义天, 等. 额尔齐斯金矿成矿带的 ^{39}Ar – ^{40}Ar 年龄及其地质意义[J]. *地质学报*, 2004, 79(1): 500–506.
Yan Shenghao, Chen Wen, Wang Yitian, et al. ^{40}Ar – ^{39}Ar dating and its significance of the Ertix gold metallogenic belt in the Altay orogen, Xinjiang[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2004, 79(1): 500–506(in Chinese with English abstract).
- [32] 李光明, 沈远超, 刘铁兵, 等. 新疆阿尔泰山南缘托库孜巴依金矿成矿演化: 石英脉系、同位素地球化学及其Ar–Ar年代学证据[J]. *矿床地质*, 2007, 26(1): 15–32.
Li Guangming, Shen Yuanchao, Liu Tiebing, et al. Metallogenic evolution of Tuokuzibayi gold deposit in southern Altay, north Xinjiang: Evidence from characteristics of quartz vein systems, isotopic geochemistry and Ar – Ar chronology[J]. *Mineral Deposits*, 2007, 26(1): 15–32(in Chinese with English abstract).
- [33] 闫升好, 滕荣丽, 王义天, 等. 新疆布尔根含金剪切带的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄及其地质意义[J]. *中国地质*, 2006, 33(3): 648–655.
Yan Shenghao, Teng Rongli, Wang Yitian, et al. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating of the Bu'ergen gold-bearing shear zone on the southern margin of the Altay Mountains, Xinjiang, and its significance[J]. *Geology in China*, 2006, 33(3): 648–655(in Chinese with English abstract).
- [34] 董连慧, 王克卓, 朱志新, 等. 新疆大型变形构造特征与成矿关系研究[J]. *中国地质*, 2013, 40(5): 1552–1568.
Dong Lianhui, Wang Kezhuo, Zhu Zhixin, et al. The relationship between the characteristics of the large-scale deformation structure and the metallogenic processes in Xinjiang[J]. *Geology in China*, 2013, 40(5): 1552–1568(in Chinese with English abstract).
- [35] 陈克强, 党延霞, 董永观, 等. 新疆阿勒泰赛都金矿含金石英脉锆石U–Pb年龄及其地质意义[J]. *矿产勘查*, 2010, 166–167.
Chen Keqiang, Dang Yanxia, Dong Yongguan, et al. Zircon U–Pb age of the Au-bearing quartz veins in Saidu gold deposit and its geological implications[j]. *Mineral Exploration*. 2010, 166–167(in Chinese with English abstract)..
- [36] 申萍, 沈远超, 刘铁兵, 等. 新疆西北缘晚古生代金铜成矿作用与构造演化[J]. *岩石学报*, 2008, 24(5): 1087–1100.
Shen Ping, Shen Yuanchao, Liu Tiebing, et al. Late Paleozoic gold and copper mineralization and tectonic evolution in northwestern Xinjiang, China[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2008, 24(5): 1087–1100(in Chinese with English abstract).