地 球 化 学

新疆金窝子片麻状花岗岩锆石 U-Pb 年代学、地球化学特征及其地质意义

丛 源[1],肖克炎[1],董庆吉[2],毛启贵[3]
(1. 中国地质科学院矿产资源研究所,北京 100037;2. 中国地质调查局,北京 100037;
3. 有色金属地质调查中心,北京 100814)

[摘 要]金窝子金矿是新疆东部重要的金矿床之一,其赋矿围岩为上泥盆统金窝子组火山碎屑岩-沉积岩和金窝子片麻状花岗岩。前人研究显示金窝子片麻状花岗岩形成时代为 356~392Ma,变化范围较大,且与金窝子组底部有片麻状花岗岩砾石的地质事实不符,在一定程度上制约着金矿床成矿作用和成矿地质背景的研究。金窝子片麻状花岗岩准确时代的确定,是研究该金矿成矿规律和构造岩浆演化的基础和关键。因此,本文采用高精度 LA-ICP-MS 方法对金窝子片麻状花岗岩进行锆石 U-Pb 定年和 Hf 同位素研究。研究结果表明,片麻状花岗岩岩浆结晶时代为 429.1±2.7Ma,形成于中志留世,结合野外观察认为岩体时代应早于金窝子组地层,两者为不整合关系。锆石的 $\varepsilon_{Hf}(t)$ 值和 Hf 同位素两阶段模式年龄分别介于-3.5~+1.2 和 2545Ma~3072Ma 之间。地球化学资料显示,片麻状花岗岩轻稀土(LREE)和大离子亲石元素(Rb、Th 和 K)相对富集,Nb、Ta 和 Ti 等高场强元素相对亏损,A/CNK 在 1.13~1.14 之间,具有高 K 钙碱性系列岩石的特征和岛弧钙碱性岩浆活动的特征,该岩体的形成与南天山洋早古生代晚期的闭合以及后来塔里木板块和哈萨克斯坦板块的碰撞密切相关。

[关键词]锆石 LA-ICP-MS 定年 片麻状花岗岩 金窝子 新疆
[中图分类号]P618 [文献标识码]A [文章编号]0495-5331(2012)04-0790-9

Cong Yuan, Xiao Ke-yan, Dong Qing-ji, Mao Qi-gui. Zircon U-Pb dating and geochemical characteristics of the gneissic granite in the Jinwozi gold deposit, Xinjiang and their geological implications[J]. Geology and Exploration, 2012, 48(4): 0790-0798.

金窝子金矿位于新疆与甘肃交界地带,是新疆东天山-北山金矿集中区东段的一个重要金矿床,迄今已有上百年的开采历史。自 1979 年勘探至今,众多学者对其展开了一系列的研究工作,积累了大量资料,并取得了一系列的研究成果(胡蔼琴等,1986;赵殿甲等,1987;曹正中等,1990;李华芹等,1993;王虹等,1993;陈纪明等,1995;周济元等,1996;席小平等,1997;陈富文等,1999;刘伟等,2002;陈柏林等,2003;王清利等,2008)。金窝子金矿的赋矿围岩主要为上泥盆统金窝子组火山碎屑岩-沉积岩和金窝子片麻状花岗岩,但是对于它们的准确时代,目前尚存在较大的争议,尤其是片麻状花岗岩,已获得的年龄数据主要有:375Ma 和 385Ma、369.7Ma(胡蔼琴等,1986)、365Ma(赵殿甲等,1987)、355.7 Ma、359 Ma(陈富文等,1999)以及 392Ma(张增杰等,2003)。然而,这些年龄数据多数精度不高,并且变化范围较大,很难指示该岩体的准确时代,限制了对金窝子金矿成矿作用和成矿地质背景的深入研究。金窝子片麻状花岗岩是该金矿的主要赋矿岩体,准确确定它的时代,对进一步厘清该地区构造岩浆作用和重新认识区域成矿地质背景,指导矿产勘查(特别是金窝子金矿外围找矿)具有重要的意义。因此,本项研究以金窝子片麻状花岗岩为研究对象,采用高精度 LA-ICP-MS 测年方法,对该岩体的时代进行了厘定,同时结合锆石 Hf 同位素和地球化学资料,探讨岩石形成的大地构造背景。

[收稿日期]2012-04-18;[修订日期]2012-05-15;[责任编辑]郝情情。
[基金项目]中国地质调查局地质大调查项目"全国重要矿产总量预测"(编号 1212010633905)资助的成果。
[第一作者]丛 源(1980 年-),女,博士后,从事矿床地球化学和矿产勘查工作。E-mail: congyuan97@sohu.com。

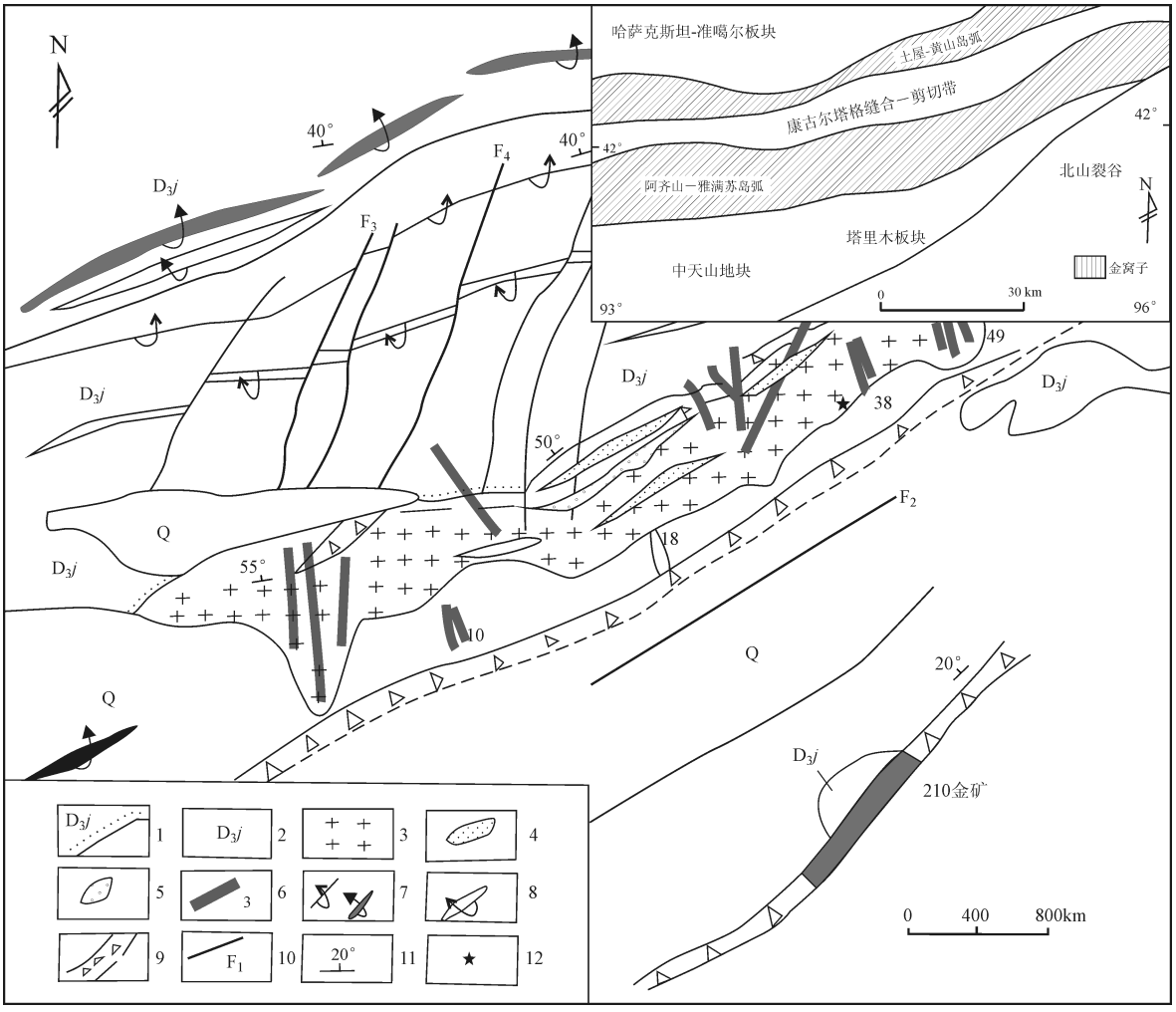

图 1　金窝子金矿床矿区地质图(据刘伟等,2002 修改)

Fig. 1　Geological map of the Jinwozi gold deposit in Xinjiang (modified from Liu *et al.*, 2002)

1-不整合界线;2-上泥盆统金窝子组;3-金窝子片麻状花岗岩;4-闪长岩脉;5-辉绿岩脉;6-含金石英脉及编号;7-背斜及倒转背斜轴;8-倒转向斜轴;9-断裂破碎带;10-断层及编号;11-地层产状;12-采样点位置

1-unconformity;2-Upper Devonian Jinwozi Formation;3-gneissic granite in the Jinwozi gold deposit;4-monzodiorite veins;5-diabases veins;6-gold-bearing quartz veins and its number;7-anticline and reversed anticlines;8-reverse anticlines;9-fractured zone;10-fault and its number;11-stratum attitude;12-sample location

1　地质概况

金窝子金矿位于塔里木地台东北部,属星星峡断隆之双井子坳陷和北山断褶带的马莲井复向斜的一部分,在构造上位于塔里木板块和哈萨克斯坦板块结合带的东段,那伦-那拉提-红柳河成矿带之星星峡-明水构造成矿区。区域主构造方向为北东东向,沙泉子断裂、尖山子断裂和红柳河断裂控制着整个区域构造。研究区出露的地层主要为元古界、古生界和新生界,元古界长城系星星峡群和卡瓦布拉克群为一套中-高级区域变质岩。石炭纪火山活动和沉积作用不发育,岩浆活动以侵入为主,形成了规模不等的岩体,这些岩体既是金成矿的物质提供者之一,也是区内重要的赋矿岩石,其中上泥盆统金窝子组火山碎屑岩-沉积岩和金窝子片麻状花岗岩是研究区的主要赋矿岩系。

金窝子组主要为一套轻微变质的火山碎屑岩-沉积岩,主要岩性为沉凝灰岩、凝灰质砂岩、砾岩、千枚岩、页岩等。岩石普遍经历了不同程度的区域变质作用和动力变质作用,多数岩石为片岩相和千枚岩相,胶结物具有重结晶作用。在金窝子组底部见片麻状花岗岩角砾,显示金窝子组不整合于金窝子片麻状花岗岩之上(图 1),金窝子片麻状花岗岩体呈 NEE-SWW 展布,长轴方向与区域构造线基本一致。岩体出露长约 5.5km,宽 500 ~ 900m,局部呈长舌状、岩株产出,东段岩性主要为黑云斜长花岗岩,

西段主要为黑云二长花岗岩。岩石碎裂结构发育，显微镜下可见黑云母受力扭曲变形，石英颗粒产生变形及波状消光、长石揉皱弯曲等现象，表明岩体成岩后经历过较强的构造作用，而呈片麻状构造。岩体中有石英闪长岩脉，白云母花岗岩脉、伟晶岩脉、辉绿岩脉和大量石英脉，反映了该地区经历了多期岩浆事件。金窝子矿区金矿体主要为含金石英脉和含金蚀变岩。其中，含金石英脉主要分布在矿区中部的片麻状花岗岩体中，构成石英脉型矿带，脉体多受 NNW（近南北）向断裂控制，倾向 225°～275°，倾角 65°～80°（图 1）；含金蚀变岩主要发育于矿区南部构造带中，即 210 矿带。

多数学者认为 2 种金矿化类型的成矿流体主要来源于岩浆热液，但有地下水的混入，金窝子组为金成矿作用提供成矿物质（金元素）（刘伟等，2003）。

含金石英脉型矿体和蚀变岩型矿体的近矿围岩蚀变十分相似，自矿体向外，大致可分出两个蚀变带：即黄铁绢英岩化带和绿泥石-碳酸盐化带。黄铁绢英岩化与金矿化的时空关系十分密切。

2 样品及分析方法

本文锆石 LA-ICP-MS 测年样品（XXX16）采自金窝子片麻状花岗岩，采样位置见图 1。锆石挑选在河北地质调查所实验室完成，片麻状花岗岩锆石干净、透明，多为自形、柱状或长柱状，颗粒大小不一，多在 100～200μm 之间，长宽比多在 1∶1～2∶1 之间。在双目镜下挑选出无裂隙、无包体的自形锆石颗粒，将其与标样置于环氧树脂中，然后磨至约一半，使内部暴露，然后进行反射光、透射光和阴极发光显微照相。锆石的阴极发光（CL）、锆石测年及 Hf 同位素分析均在中国科学院地质与地球物理研究所完成。锆石 U-Pb 年龄在 Neptune 多接收器电感耦合等离子体质谱仪 LA-ICP-MS 和 193nm 激光取样系统上进行，激光束斑直径为 40～60μm，采用高纯 Ar 气为载气，用美国国家标准技术研究院研制的人工合成硅酸盐玻璃标准参考物质 NIST610 进行仪器最佳化，采用 91500 标准锆石外部校正法进行锆石原位 U-Pb 分析。详细的测试流程、技术参数和干扰校正参数和校正方法可参见谢烈文等（2008）。数据处理采用 GLITTER 4.0（Macquarie University）（Jackson *et al.*，2004）和 ISOPLOT 3.0 程序（Ludwig *et al.*，2003），普通铅校正采用 Anderson（2002）方法。

Hf 同位素分析在 Neptune 多接收电感耦合等离子质谱仪（MC-ICP-MS）和 193nm 激光取样系统上进行，分析时激光束直径为 60μm 激光剥蚀时间约 26σ。测定时用锆石国际标样 91500 锆石作外标，分析中所用激光脉冲速率为 8～10Hz，能量密度为 100mJ/cm^2。仪器的运行条件及详细的分析过程参见谢烈文等（2008）。主量、微量和稀土元素分析也在中国科学院地质与地球物理研究所完成，主量采用 X-射线荧光光谱仪（XRF）分析，微量元素和稀土元素采用 ICP-MS 方法测定。

3 测试结果

3.1 锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄

本文选择了 20 颗具有代表性的锆石进行了分析，测试结果见表 1。CL 图像显示，锆石晶体较完整，颗粒较大，多数锆石韵律环带发育，并有少量锆石具有核幔结构，核部应为继承源岩的成分（图 2）。20 个分析点的 Th 含量变化于（31～309）×10^{-6}，U 变化于（37～323）×10^{-6}，Th、U 之间具有正相关关系，Th/U 比值在 0.49～0.92 之间，为具有典型的岩浆锆石特征（Hoskin *et al.*，2000）。获得的 20 个分析点^{206}Pb/^{238}U 年龄，15 个点年龄集中变化于420～437 Ma 之间，在谐和曲线上成群分布（图 3），加权平均年龄为 429.1±2.7 Ma（MSWD=0.86），代表金窝子片麻状花岗岩的岩浆结晶年龄。另外 5 个锆石颗粒的年龄较大（分析点 1、13、15、16 和 19，年龄在 631～1604 Ma 之间），分析点位于具有核幔结构的锆石核部，代表岩浆形成过程中捕获了围岩的继承锆石的年龄，其年龄代表源岩的时代，反映了该地区可能存在较老的基底岩石。

3.2 地球化学特征

金窝子片麻状花岗岩地球化学分析结果见表 2，SiO_2 含量为 65.18%～66.12%，全碱含量（K_2O+Na_2O）在 5.2%～6.12% 之间，在 TAS 图解中 2 个样品均位于花岗闪长岩的区域内（图 4），样品 K_2O 的含量在 2.71%～3.38% 之间，具有高钾钙碱性系列特征，Al_2O_3 含量为 12.91%～14.15%，铝饱和指数（A/CNK）在 1.13～1.14 之间，具有过铝质花岗岩特征（图 5）。在球粒陨石标准化稀土元素图解上（图 6a），样品显示出轻稀土元素（LREE）富集、重稀土元素（HREE）相对亏损的特征（La_N/Yb_N=12.5～13.4），Eu 负异常明显（δEu=0.55～0.68）。原始地幔标准化微量元素蛛网图中（图 6b），Rb、Th 和 K 等大离子亲石元素强烈富集，相对亏损 Nb、Ta 和 Ti 等高场强元素，且富集 Pb，亏损 Sr。

表 1　金窝子片麻状花岗岩中锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄结果

Table 1　Zircon LA-ICP-MS U-Pb dating data of the gneissic granite in the Jinwozi gold deposit

点号	Th ($\times10^{-6}$)	U ($\times10^{-6}$)	Pb* ($\times10^{-6}$)	$^{232}Th/^{238}U$	同位素比值						同位素年龄(Ma)					
					$^{207}Pb/^{206}Pb$	1σ	$^{207}Pb/^{235}U$	1σ	$^{206}Pb/^{238}U$	1σ	$^{207}Pb/^{206}Pb$	1σ	$^{207}Pb/^{235}U$	1σ	$^{206}Pb/^{238}U$	1σ
1	92	233	30	0.40	0.06465	0.00119	1.12637	0.01960	0.12635	0.00135	763	20	766	9	767	8
2	106	229	19	0.46	0.05532	0.00159	0.52826	0.01444	0.06926	0.00088	425	38	431	10	432	5
3	69	187	14	0.37	0.05534	0.00129	0.51781	0.01142	0.06786	0.00077	426	29	424	8	423	5
4	85	117	10	0.73	0.05496	0.00174	0.52791	0.01585	0.06967	0.00093	411	43	430	11	434	6
5	137	211	18	0.65	0.05543	0.00144	0.53576	0.01320	0.07010	0.00084	430	34	436	9	437	5
6	83	198	15	0.42	0.05535	0.00148	0.52279	0.01326	0.06850	0.00083	426	35	427	9	427	5
7	63	220	16	0.29	0.05420	0.00130	0.51717	0.01180	0.06921	0.00079	379	31	423	8	431	5
8	142	329	25	0.43	0.05548	0.00106	0.52904	0.00956	0.06916	0.00072	432	22	431	6	431	4
9	53	141	11	0.37	0.04837	0.00184	0.46314	0.01706	0.06944	0.00092	117	61	386	12	433	6
10	91	94	8	0.97	0.05840	0.00271	0.55394	0.02442	0.06880	0.00122	545	65	448	16	429	7
11	100	153	12	0.65	0.05542	0.00127	0.52809	0.01145	0.06911	0.00078	429	29	431	8	431	5
12	88	150	12	0.59	0.05507	0.00204	0.52237	0.01847	0.06880	0.00101	415	53	427	12	429	6
13	83	264	87	0.31	0.12326	0.00120	4.80259	0.04267	0.28259	0.00270	2004	8	1785	7	1604	14
14	70	101	8	0.69	0.05293	0.00204	0.49210	0.01815	0.06743	0.00098	326	57	406	12	421	6
15	31	37	7	0.84	0.06521	0.00284	1.11498	0.04611	0.12401	0.00221	781	57	761	22	754	13
16	109	203	27	0.54	0.07691	0.00138	1.09128	0.01826	0.10291	0.00111	1119	17	749	9	631	6
17	310	323	28	0.96	0.06007	0.00141	0.56119	0.01249	0.06775	0.00078	606	29	452	8	423	5
18	71	234	17	0.30	0.05554	0.00150	0.53094	0.01366	0.06934	0.00085	434	36	432	9	432	5
19	181	158	49	1.15	0.09461	0.00119	2.94393	0.03423	0.22569	0.00225	1520	10	1393	9	1312	12
20	107	135	11	0.79	0.05728	0.00196	0.53222	0.01730	0.06739	0.00094	502	47	433	11	420	6

测试单位:中国科学院地质与地球物理研究所,2010 年。

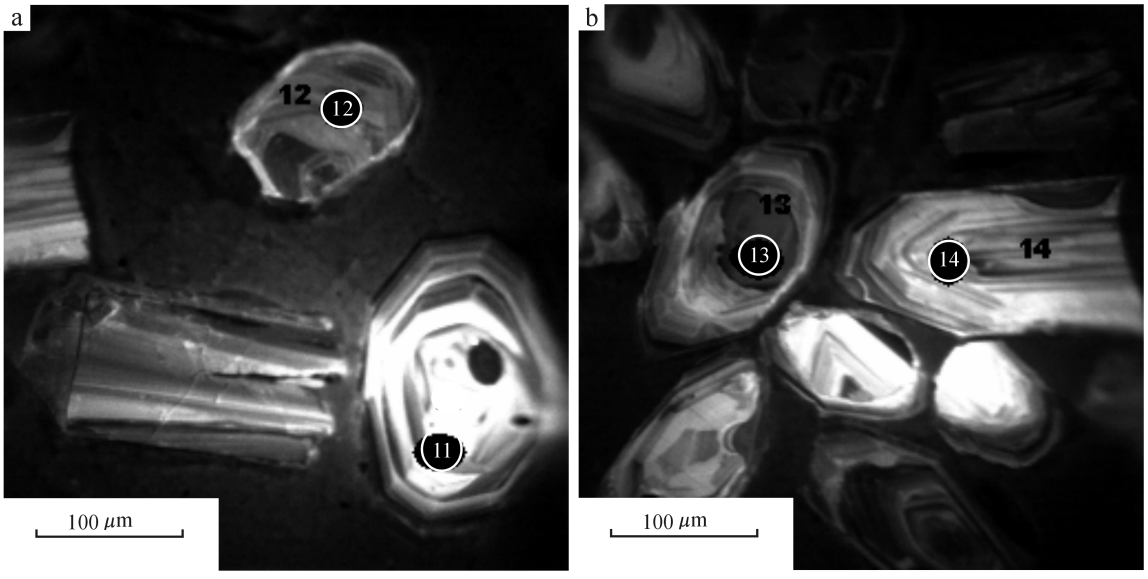

图 2　金窝子金矿片麻状花岗岩中部分有代表性的锆石阴极发光图像

Fig. 2　CL images of zircons from gneissic granite from the Jinwozi gold deposit

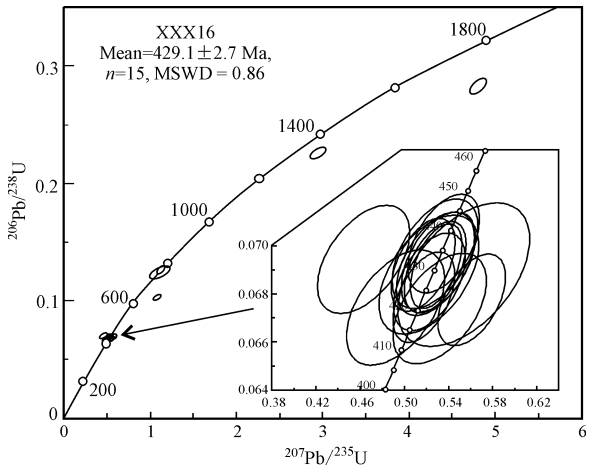

图 3 金窝子金矿片麻状花岗岩锆石 U–Pb 年龄谐和图

Fig. 3 Zircon U–Pb concordia diagram of gneissic granite from the Jinwozi gold deposit

表 2 金窝子片麻状花岗岩主量(wt%)/稀土和微量元素($\times10^{-6}$)分析结果

Table 2 Major elements (wt%), REE and trace elements($\times10^{-6}$) contents of gneissic granite from the Jinwozi gold deposit

样品号	XXX16–1	XXX16–2	样品号	XXX16–1	XXX16–2
SiO_2	66.12	65.18	Ba	579.5	818.6
TiO_2	1.09	0.98	La	50.92	45.58
Al_2O_3	12.91	14.15	Ce	112.6	100.51
Fe_2O_3T	7.32	6.54	Pr	12.9	11.54
MnO	0.08	0.07	Nd	54.25	48.47
MgO	2.33	2.03	Sm	11.24	9.67
CaO	2.38	2.41	Eu	2.11	2.33
Na_2O	2.49	2.74	Gd	12.11	11.16
K_2O	2.71	3.38	Tb	1.74	1.54
P_2O_5	0.36	0.35	Dy	8.76	7.52
LOI	1.8	1.73	Ho	1.53	1.45
总计	99.59	99.56	Er	4.02	3.68
Sc	16.7	14.75	Tm	0.56	0.48
Cr	42.36	37	Yb	2.73	2.62
Co	14.78	13.35	Lu	0.43	0.38
Ni	25.42	22.64	Hf	10.16	10.09
Cu	23.57	24.03	Ta	1.31	1.17
Zn	92.85	76.88	Pb	17.86	27.08
Ga	18.66	18.03	Bi	0.23	0.15
Rb	134.85	127.17	Th	24.42	21.6
Sr	145.17	177.94	U	1.99	2.12
Y	38.24	34.83	K	22449	28000
Zr	363.31	357.67	P	1571	1527
Nb	20.79	17.89	Ti	6533	5874
Mo	0.33	0.6	Y	38.2	34.8
Sn	3.34	2.87	Nb	20.8	17.9
Cs	10.75	7.39	A/CNK	1.13	1.14

测试单位:中国科学院地质与地球物理研究所,2010 年。

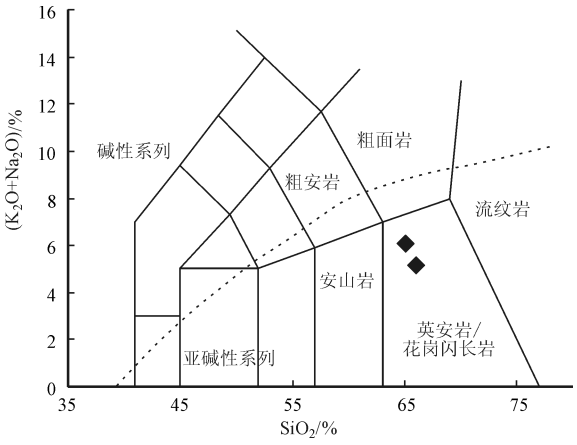

图 4 金窝子片麻状花岗岩岩石 TAS 图解

Fig. 4 TAS diagram of gneissic granite from the Jinwozi gold deposit

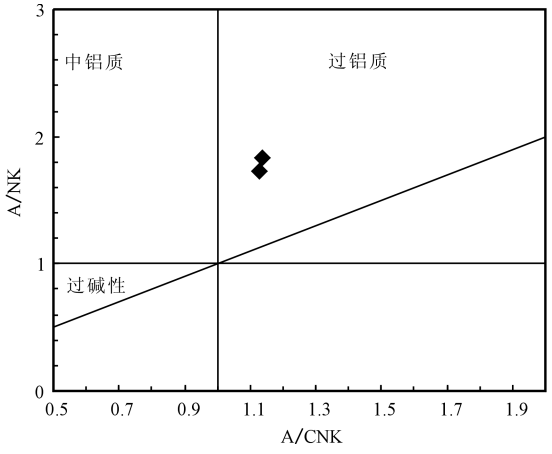

图 5 金窝子片麻状花岗岩铝饱和度图解

Fig. 5 A/NK–A/CNK diagram of gneissic granite from the Jinwozi gold deposit

3.3 锆石 Hf 同位素

锆石 Hf 同位素分析点位置和 La–ICP–MS 测年点相对应,分析结果见表 3。金窝子片麻状花岗岩样品锆石 $^{176}Hf/^{177}Hf$ 比值多数分布于 0.282415 ~ 0.282574,根据每个锆石的年龄计算,对应的 $\varepsilon_{Hf}(t)$ 值在–3.5 ~ +1.2 之间,加权平均值为–1.1,T_{DM1} 值为 1042 Ma ~ 1189 Ma(平均为 1103 Ma),T_{DM2} 值为 2545 Ma ~ 3072 Ma(平均为 2739 Ma)(图 7)。另外 5 颗继承锆石的 $^{176}Hf/^{177}Hf$ 比值(0.281508 ~ 0.282393)和 $\varepsilon_{Hf}(t)$ 值(–17.9 ~ +1.7)变化均较大。

4 讨论及结论

4.1 金窝子片麻状花岗岩的时代

对于金窝子片麻状花岗岩的时代,前人已经做

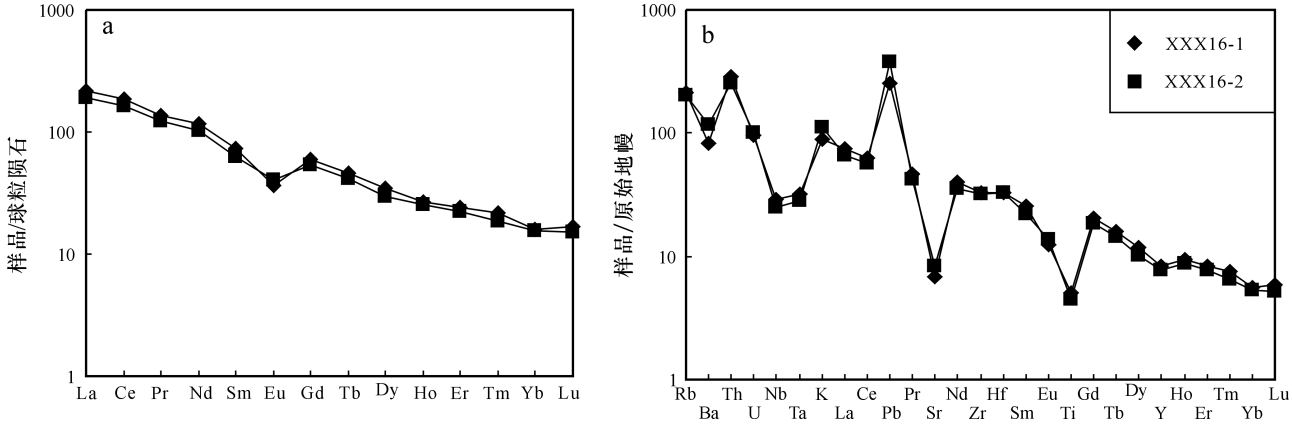

图 6　稀土球粒陨石标准化配分图解(a)和原始地幔(PM)标准化微量元素蛛网图解(b)

Fig. 6　REE patterns(a) and trace spadergrams(b) diagrams of gneissic granite from the Jinwozi gold deposit

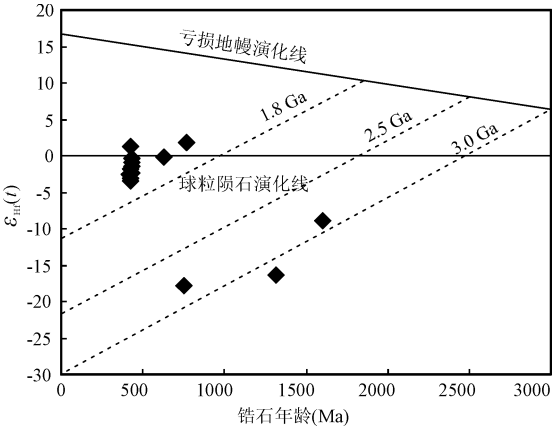

图 7　金窝子片麻状花岗岩锆石 Hf 同位素组成特征图解

Fig. 7　Diagram of initial Hf values of zircons from gneissic granite from the Jinwozi gold deposit

了许多定年工作(胡蔼琴等,1986;赵殿甲等,1987;陈富文等,1999;张增杰等,2003),其时代变化范围在 356 ~ 392 Ma 之间。然而这些工作多采用 Rb-Sr 法或锆石 U-Pb TIMS 法等传统测试方法,精度不高、可信度较差。本文采用了高精度 LA-ICP-MS 法,对代表性样品进行锆石定年,获得了片麻状花岗岩岩浆结晶年龄为 429.1±2.7 Ma (MSWD = 0.86),为早志留世晚期,这与该岩体不整合于上泥盆统金窝子组之下的地质事实相符合。与此同时,本研究还获得了 5 个继承锆石的年龄(631 ~ 1604 Ma),代表该地区古老基底岩石的记录。此外,王清利等(2008)对金窝子金矿剪切带中绢云母进行了 Ar-Ar 定年,获得了 243 ±2 Ma 的坪年龄,与该地区区域性剪切带的走滑活动时代一致,认为它代表该金矿的形成时代。也就是说,金窝子片麻状花岗岩的岩浆早古生代晚期开始侵位、结晶,为该矿床的形成奠定了物质基础(王京彬等,2006)。

4.2　成矿意义

根据本文研究成果,金窝子岩体与金矿化时差在 180Ma 以上,二者无直接的成因联系;即使金窝子岩体金元素含量比较高,为中生代金矿化提供了就位空间,但是由于其变质-变形作用弱,其中的金元素尚未被活化,难以进入成矿作用过程,因此,金窝子岩体不太可能是直接的矿源岩系。由于金窝子组普遍发生浅变质作用和较强烈的构造变形作用,能够提供金矿床的成矿物质,因此,金窝子金矿床的成矿物质(金元素)主要来源于金窝子组地层(陈柏林,2010)。

中生代早期伴随着区域性剪切带的活动,片麻状构造形成,局部地区岩石遭受了强烈剪切而破碎,成矿物质在变质变形作用下逐步富集成矿,而片麻状构造产生的裂隙也为该矿床的形成提供了有利的容矿空间,进一步促进了金窝子金矿的形成。

尽管多数研究者认为金窝子金矿的成矿时代与成岩时代时差超过 100Ma,推测存在隐伏岩体,但经局部钻探证实,深部岩石特征与地表出露的金窝子二长花岗岩一致(席小平,1997),是地表岩体的下延,该区至今没有能证实存在与金矿化有关的隐伏岩体。

4.3　构造意义

金窝子片麻状花岗岩 SiO_2 含量为 65.18% ~ 66.12%,Al_2O_3 为 12.91% ~ 14.15%,A/CNK 在 1.13 ~ 1.14 之间,属于典型的过铝质花岗岩,且具有高钾钙碱性系列岩石的特征。稀土元素中轻稀土富集,重稀土相对亏损,Eu 负异常明显,说明岩浆存

表 3 金窝子片麻状花岗岩 Lu-Hf 同位素分析数据

Table 3 Lu-Hf compositions of gneissic granite from the Jinwozi gold deposit

点号	年龄（Ma）	$^{176}Yb/^{177}Hf$	$^{176}Lu/^{177}Hf$	$^{176}Hf/^{177}Hf$	2σ	$\varepsilon_{Hf}(0)$	$\varepsilon_{Hf}(t)$	T_{DM1}（Ma）	T_{DM2}（Ma）	$f_{Lu/Hf}$
1	767	0.029145	0.000989	0.282357	0.000016	-14.7	1.7	1265	3211	-0.97
2	432	0.062425	0.002069	0.282453	0.000020	-11.3	-2.4	1163	2734	-0.94
3	423	0.041148	0.001404	0.282447	0.000020	-11.5	-2.6	1151	2561	-0.96
4	434	0.035185	0.001210	0.282448	0.000022	-11.5	-2.3	1144	2829	-0.96
6	427	0.038146	0.001341	0.282430	0.000021	-12.1	-3.1	1173	2658	-0.96
7	431	0.048493	0.001664	0.282475	0.000020	-10.5	-1.5	1120	2848	-0.95
8	431	0.058222	0.002069	0.282493	0.000021	-9.9	-1.0	1106	2642	-0.94
10	429	0.033855	0.001181	0.282415	0.000023	-12.6	-3.5	1189	3072	-0.96
11	431	0.042793	0.001535	0.282489	0.000024	-10.0	-1.0	1095	2719	-0.95
12	429	0.034885	0.001255	0.282449	0.000021	-11.4	-2.3	1144	2854	-0.96
13	1604	0.017192	0.000642	0.281532	0.000021	-43.9	-8.9	2386	2703	-0.98
14	421	0.035758	0.001314	0.282467	0.000023	-10.8	-1.9	1120	2558	-0.96
15	754	0.009943	0.000390	0.281803	0.000021	-34.3	-17.9	2004	2706	-0.99
16	631	0.045111	0.001664	0.282393	0.000022	-13.4	-0.2	1237	2768	-0.95
17	423	0.114554	0.003943	0.282574	0.000023	-7.0	1.2	1042	2545	-0.88
18	432	0.040827	0.001547	0.282508	0.000019	-9.3	-0.3	1069	2850	-0.95
19	1312	0.018757	0.000706	0.281508	0.000019	-44.7	-16.3	2422	2895	-0.98
20	420	0.040100	0.001482	0.282451	0.000020	-11.3	-2.5	1148	2667	-0.96

测试单位：中国科学院地质与地球物理研究所，2010 年。

在斜长石的分离结晶。稀土元素配分曲线为向右倾斜曲线，Nb、Ta 和 Ti 等高场强元素亏损明显，这些特征与后碰撞花岗岩类似。片麻状花岗岩锆石的 $^{176}Hf/^{177}Hf$ 比值多在 0.282415 ~ 0.282574 之间，$\varepsilon_{Hf}(t)$ 值在 -3.5 ~ +1.2 之间，指示其岩浆可能源于岩石圈地幔部分熔融，并可能受到含有火山弧组分的年轻地壳的混染。两阶段模式年龄在 2545 ~ 3072 Ma 之间，反映其源岩为太古代晚期地壳物质。

最近的研究资料显示，红柳河蛇绿岩堆晶辉长岩年龄为 516 Ma（张元元等，2008），代表该地区南天山洋洋壳的形成时代，而北山地区榴辉岩的峰期变质作用的时代为 465 Ma（Liu *et al.*，2010），代表大洋闭合、俯冲消减的年龄。本项研究获得的金窝子片麻状花岗岩岩浆结晶年龄为 429.1±2.7 Ma，与北山柳园地区早古生代花岗岩的侵位时代一致（427 ~431 Ma）（赵泽辉等，2007），同时在红柳河地区还出露有 440 Ma 的花岗岩。因此，在该地区南天山洋寒武纪就已经形成，中奥陶世伴随着榴辉岩的形成该大洋开始闭合，北山地区包括金窝子岩体在内的早古生代花岗岩岩石（427 ~440 Ma）的形成与该大洋的闭合以及后来塔里木板块和哈萨克斯坦板块的碰撞密切相关。

致谢 在工作过程中得到中国地质调查局资源评价部龙宝林、谢国刚、张生辉、蔺志永等的大力支持，在此表示衷心的感谢！在审稿过程中，专家提出了宝贵的修改建议，在此一并表示谢忱！

[References]

Anderson T. 2002. Correction of common lead in U-Pb analyses that do not report ^{204}Pb[J]. Chem. Geol., (192): 59-79

Cao Zheng-zhong. 1990. The origin of Jinwozi gold deposit[J]. Xinjiang Geology, 12(2):45-50(in Chinese with English abstract)

Chen Bo-lin, Wu Gan-guo, Ye De-jin. Liu Xiao-chun. 2003. An analysis of ore-controlling structures in the Jinwozi gold orefield, Beishan area, Gansu and Xinjiang[J]. Acta Geoscientia Sinica, 24(4):305-310(in Chinese with English abstract)

Chen Bo-lin. 2010. A discussion on origin of Jinwozi ductile shear zone type gold deposit in Beishan area of Gansu and Xinjiang [J]. Mineral Deposits, 29(6):972-981(in Chinese with English abstract)

Chen Fu-wen, LiHua-qin, Cai Hong, Liu Hou-qun. 1999. Gold-forming discussion of Jinwozi gold deposit in eastern Xinjiang Province [J]. Review of Geology, 45(3):247-253(in Chinese with English abstract)

Chen Ji-ming. 1995. The geological characteristics and origin of the Jinwozi gold deposit, Beishan, Gansu province[C]//. Cun Gui, Chen Ji-ming(eds.) The typical gold deposit in China(the second vol-

ume). Beijing:Geological Publishing House: 16-24(in Chinese)

Hoskin P W O, Black L P. 2000. Metamorphic zircon formation by solid-state recrystallization of protolith igneous zircon[J]. Metamorph Geol, 18: 423-439

Hu Ai-qin, Zhang Zhen-gen, Liu Ju-ying, Peng Jian-hua, Zhang Ji-bin, Zhao Dian-jia, Yang Yi-zu, Zhou Wei. 1986. U-Pb age and evolution of Precambrian metamorphic rocks of Middle Tianshan uplift zone, eastern Tianshan, China[J]. Geochimica, 15(1):23-35(in Chinese with English abstract)

Jackson S E, Pearson N J, Griffin W L, Belousova E A. 2004. The application of laser ablation-inductively coupled plasma-mass spectrometry (LA-ICP-MS) to in situ U-Pb zircon geochronology[J]. Chem. Geol.,(211): 47-69

Li Hua-qin, Liu Jia-qi, Wei Lin. 1993. The fluid inclusion chronology study and geological application of epithermal type gold deposit. [M]. Beijing: Geological Publishing House: 12-22(in Chinese)

Liu Wei, Li Xin-jun, Deng Jun. 2002. Sources of ore-forming fluids and metallic materials in the Jinwozi gold deposit, eastern Xinjiang Mountains of China[J]. Science in China, series D, 46(Supp.): 135-53(in Chinese with English abstract)

Liu Xiao-chun, Chen Bo-lin, Jahn Bor-ming, Wu Gan-guo, Liu Yong-sheng. 2010. Early Paleozoic (ca. 465 Ma) eclogites from Beishan (NW China) and their bearing on the tectonic evolution of the southern Central Asian orogenic belt[J]. Journal of Asian Earth Sciences, doi:10.1016/j.jseaes. 10.017

Ludwig K R. 2003. User's manual for Isoplot 3.0: A geochronological toolkit for Microsoft excel[M]. Berkeley Geochronology Center. Special publication 4: 1-71

Wang Hong. 1993. Dynamic hydrothermal origin of Jinwozi gold deposit [J]. Xinjiang Geolgoy, 1(1):63-67(in Chinese with English abstract)

Wang Jing-bin, Wang Yu-wang, He Zhi-jun. 2006. Ore deposits as a guide to the tectonic evolution in the East Tianshan Mountains, NW China[J]. Geology in China, 33(3): 461-469(in Chinese with English abstract)

Wang Qing-li, Chen Wen, Han Dan, Wang Cheng-yu, Liu Xin-yu, Zhang Si-hong. 2008. The age and mechanism of formation of the Jinwozi gold deposit, Xinjiang[J]. Geology in China, 35(2):286-292(in Chinese with English abstract)

Xi Xiao-ping. 1997. Geology and gold prospecting target of Jinwozi rock body[J]. Xinjiang Geolgoy, 15(1):76-83(in Chinese with English abstract)

Xie Lei-wen, Zhang Yan-bin, Zhang Hiu-huang, Sun Jin-feng, Wu Fu-yuan. 2008. Simultaneous determination of U-Pb, Lu-Hf isotopic and trace elements in zircon and beddeleyite[J]. Chinese Sciences Bulletin, 53(2):220-228(in Chinese)

Zhang Yuan-yuan, Guo Zhao-jie. 2008. Accurate constraint on formation and emplacement age of Hongltuhe ophiolite, boundary region between Xinjiang and Gansu Provinces and its tectonic implications [J]. Acta Petrologic Sinica, 24(4):803-809(in Chinese with English abstract)

Zhang Zeng-jie, Chen Yan-jing, Bao Jing-xin, Chen Hua-yong. 2003. Discussion on the rock body of Jinwozi gold deposit: technology, method and theory[D], the science application of proseminar (summary volume): 378-434(in Chinese with English abstract)

Zhao Dian-jia, Zhang Ji-bin. 1987. The geochemistry characteristics and discussion about origin of Jinwozi gold deposit[J]. Geochimica, 8: 59-61(in Chinese)

Zhao Ze-hui, Guo Zhao-jie, Wang Yi. 2007. Geochronology, geochemical characteristics and tectonic implications of the granitoids from Liuyuan area, Beishan, Gansu province, northwest China[J]. Acta Petrologic Sinica, 23(8):1847-1860(in Chinese with English abstract)

Zhou Ji-yuan, Zhang Bin, Zhang Chao-wen, Zhao Jun-lei. 1996. The geology of Ag, Al, Au and Cu deposit in the Paleo-continent and its margin[M]. Beijing: Geological Publishing House: 1-67(in Chinese)

[附中文参考文献]

曹正中. 1990. 金窝子金矿成因分析[J]. 新疆矿产地质, 12(2):45-50

陈柏林, 吴淦国, 叶得金, 刘晓春. 2003. 甘-新北山金窝子金矿田构造控矿解析[J]. 地球学报, 24(4):305-310

陈柏林. 2010. 甘新北山金窝子韧性剪切带型金矿床成因[J]. 矿床地质, 29(6):972-981

陈富文, 李华芹. 蔡　红, 刘妬群. 1999. 新疆东部金窝子金矿成因讨论[J]. 地质论评, 45(3):247-253

陈纪明. 1995. 甘肃北山金窝子金矿床地质特征及其成因探讨[C]. 见:寸圭, 陈纪明主编. 中国典型金矿床(第二集). 北京:地质出版社:16-24

胡蔼琴, 章振根, 刘菊英, 彭建华, 张积斌, 赵殿甲, 杨异祖, 周　位. 1986. 天山东段中天山隆起带前寒武系变质时代及演化-据 U-Pb 年代学研究[J], 地球化学, 15(1):23-35

李华芹, 刘家齐, 魏　林. 1993. 热掖矿床流体包裹体年代学研究及其地质应用[M]. 北京:地质出版社:12-22

刘　伟, 李新俊, 邓　军. 2002. 东天山金窝子石英脉金矿床成矿流体和成矿物质的来源[J]. 中国科学(D 辑), 46:135-53

王　虹. 1993. 金窝子金矿床动力热液成矿雏议[J]. 新疆地质, 1(1):63-67

王京彬, 王玉往, 何志军. 2006. 东天山大地构造演化的成矿示踪[J]. 中国地质, 33(3): 461-469

王清利, 陈文, 韩　丹, 王成玉, 刘新宇, 张思红. 2008. 新疆金窝子金矿床形成时代研究与成因机制讨论[J]. 中国地质, 35(2):286-292

席小平. 1997. 金窝子岩体的地质特征及找金方向[J]. 新疆地质, 15(1):76-83

谢烈文, 张艳斌, 张辉煌, 孙金凤, 吴福元. 2008. 锆石/斜锆石 U-Pb 和 Lu-Hf 同位素以及微量元素成分的同时原位测定[J]. 科学通报, 53(2):220-228

张元元, 郭召杰. 2008. 甘新交界红柳河蛇绿岩形成和侵位年龄的准确限定及大地构造意义[J]. 岩石学报, 24(4):803-809

张增杰, 陈衍景, 鲍景新, 陈华勇. 2003. 新疆金窝子岩体年龄探讨:《同位素地质新进展:技术、方法、理论与应用学术研讨会论文(摘要)集》:378-434

赵殿甲, 张积斌. 1987. 金窝子金矿床的地球化学特征及其成因的探

讨[J]. 地质地球化学, 8:59-61
赵泽辉, 郭召杰, 王 毅. 2007. 甘肃北山柳园地区花岗岩类的年代学、地球化学特征及构造意义[J]. 岩石学报,23(8):1847-1860
周济元,张 斌,张朝文,赵俊磊. 1996. 东天山古大陆及其边缘银、铝、金和铜矿地质[M]. 北京:地质出版社:1-67

Zircon U-Pb Dating and Geochemical Characteristics of the Gneissic Granite in the Jinwozi Gold Deposit, Xinjiang and Their Geological Implications

CONG Yuan[1], XIAO Ke-yan[1], DONG Qing-ji[2], MAO Qi-gui[3]
(1. *Institute of Mineral Resources, CAGS, Beijing* 100037; 2. *Chian geological survey, Beijing* 100037;
3. *China nonferrous Metals Resources Geological Survey, Beijing* 100814)

Abstract: The Jinwozi gold deposit is one of the important gold deposits in eastern Xinjiang. It is hosted in the volcaniclastic-sedimentary rocks of the upper Devonian Jinwozi Formation and the Jinwozi gneissic granite. Previous studies suggest that the Jinwozi gneissic granite formed at 356 ~ 392 Ma. This large time variation does not accord with the geological information that there is gneissic granite gravel in the bottom of the Jinwozi Formation. This conclusion, to some extent, limits the further study on the gold mineralization and geological background in this area. Accurate age determination of the Jinwozi gneissic granite is critical for researching gold mineralization and tectno-magmatic evolution. In this work, U-Pb dating and Hf isotope studies of zircon grains from the Jinwozi gneissic granite have been conducted by the high-precision LA-ICP-MS method. The result shows that the gneissic granite magma crystallization age is 429.1 ± 2.7Ma, in the middle Silurian. The $\varepsilon_{Hf}(t)$ values of Zircon and Hf two-stage isotope model ages are-3.5-+1.2 and 2545 ~3072 Ma, respectively. Geochemical data of granite demonstrates that it is rich in LILE and depleted in HFSE (Nb, Ta, Ti). A/CNK ranges from 1.13 to 1.14, which has the characteristics of high-K calc-alkaline volcanic rock series. It is thus concluded that the formation and emplacement of the Jinwozi gneissic granite are closely related to the closure of the South Tianshan ocean in the early Paleozoic and later collision of the Tarim plate with the Kazakhstan plate.

Key words: Zircon, LA-ICP-MS dating, gneissic granite, Jinwozi, Xinjiang