

天山东段天湖东片麻状花岗岩的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄和构造演化意义*

胡霏琴^{1,2} 韦刚健¹ 张积斌² 邓文峰¹ 陈林丽¹

HU AiQin^{1,2}, WEI GangJian¹, ZHANG JiBin², DENG WenFeng¹ and CHEN LinLi¹

1. 中国科学院广州地球化学研究所 同位素年代学和地球化学重点实验室, 广州 510640

2. 新疆有色地质勘察局, 乌鲁木齐 830000

1. Key Laboratory of Isotope Geochronology and Geochemistry, Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, China

2. Xinjiang Non-ferrous Geo-exploration Bureau, Urumqi 830000, China

2007-03-30 收稿, 2007-05-21 改回.

HU AQ, WEI GJ, ZHANG JB, DENG WF and CHEN LL. 2007. SHRIMP U-Pb age for zircons of East Tianhu granitic gneiss and tectonic evolution significance from the eastern Tianshan Mountains, Xinjiang, China. *Acta Petrologica Sinica*, 23(8): 1795 – 1802

Abstract Granitic gneisses occur widely from Tianhu to Xingxingxia in the eastern Tianshan Mountains. The East Tianhu granitic body has been proposed as late Proterozoic granite (or called Chengjiang Period) and be formed in tectonic conversion from compression to extension at late or post-orogenic stage by Gu *et al.* (1990) and Zhang *et al.* (2004), which was based on a Rb-Sr isochron age of 707.7 ± 4.9 Ma. However, our study indicates that geologic occurrence and feature of petrologic structure of the East Tianhu granitic gneisses are different from those of the Proterozoic granitic gneisses with huge-augen in eastern section of Tianshan Mountains. Further studies based on high-precision SHRIMP U-Pb dating on 18 zircons from a monzonitic granitic gneiss of the East Tianhu body show a weighted mean $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ ages of 466.5 ± 9.8 Ma (2σ) for 17 zircons, and no Proterozoic remanent zircon and no Precambrian age were discovered. Our results denote that the East Tianhu granitic gneiss was formed in the early Paleozoic, other than in Proterozoic, thus the conception of (Chengjiang Period-granite) is questionable. Also, our zircon U-Pb ages are consistent with those of great many early Paleozoic granitoids in the eastern and the western Tianshan orogenic belts. Other evidences come from trace elements and Nd-Sr isotopic compositions, which show obvious characteristics of island arc calc-alkaline rocks. This study offers credible time information to investigate earlier closure time of some oceanic basin of Paleo-Asian Ocean.

Key words Eastern Tianshan Mountains of China, Early Paleozoic East Tianhu granitic gneiss, Zircon SHRIMP U-Pb age

摘要 东天山天湖至星星峡地区广泛分布着片麻状花岗岩, 顾连兴等(1990)和张遵忠等(2004)基于 Rb-Sr 等时线年龄为 707.7 ± 4.9 Ma 的结果, 提出天湖东岩体最有可能形成于澄江运动造山晚期的挤压—拉张构造转折环境。因此, 天湖东岩体的形成时代直接关系到对东天山造山带构造演化历史的认识。我们的研究认为该岩体的地质产状和岩石特征均有别于东天山的元古宙巨眼珠片麻状花岗岩, 故对天湖东二长花岗岩中的锆石作了 SHRIMP U-Pb 年龄分析。研究中测定的 18 粒锆石中没有发现任何元古宙残留锆石和相关的年龄信息, 由 17 个测点的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄为 466.5 ± 9.8 (2σ) Ma, 可以确定天湖东岩体为早古生代花岗岩, 而不是元古宙(或澄江期)花岗岩。基于元素和 Nd-Sr 同位素组成的研究结果, 它们具有岛弧钙碱性岩浆岩的地球化学特征。该研究结果与东、西天山造山带其它地区获得的大量早古生代花岗岩的年龄具一致性。本研究结果对揭示早古生代古亚洲洋部分洋盆的闭合时间提供了重要的依据。

关键词 天山东段; 早古生代天湖东片麻状花岗岩; 锆石 SHRIMP U-Pb 年龄

中图法分类号 P588.121; P597.3

* 国家重点基础研究发展规划项目“中亚造山与成矿研究”(编号: 2001CB409805)资助。

第一作者简介: 胡霏琴, 女, 1940 年生, 研究员, 同位素年代学和地球化学, E-mail: huaq@gig.ac.cn

1 引言

天山东段天湖地区分布着大量近东西走向的片麻状花岗岩岩体,在1:20万沙泉子幅地质图中划为加里东期侵入体,但是由于岩体出露区地层发育不全,其形成侵位时代无可靠时代的地层制约依据,又无同位素年龄的限定,其划分方案是根据现有资料通过构造旋回、岩浆建造特点、岩体相互穿插关系和岩石特征,并与西部邻区同一构造带内侵入岩进行研究分析和对比而确定的^①。自上世纪八十年代以后,一些研究者应用同位素计时方法研究了其形成时代,胡霁琴等(1986)根据岩体中非电磁性组份锆石的粗略 U-Pb 年龄,确定它是早古生代侵入体(图1中样品点为1号的位置),而顾连兴等(1990)和张遵忠等(2004)根据该岩体的全岩 Rb-Sr 等时线年龄结果,将其认定为元古宙澄江期花岗岩体(图1中2号样品点位置),并对该花岗岩体的地球化学特征和演化机制作过大量深入研究(张遵忠等,2004)。据我们在2002年的野外地质工作,认为天湖东岩体的岩石特征与星星峡地区有可靠年龄证据的元古宙花岗岩体,如转井山、星星峡山岩体等并不相同。因此,重新采集了年龄样品并分选出锆石,应用 SHRIMP 技术,得到更为精确的锆石 U-Pb 年龄,确认天湖东岩体应该是早古生代形成的花岗岩。这一研究结果对研究该花岗岩形成构造环境,以及重新认识东天山地质演化有十分重要的意义。

2 地质简况

天山东段出露的地层有古一中元古界星星峡群、卡瓦布拉克群、新元古界天湖群,以及寒武系、志留系、二叠系地层等,侵入岩分布广泛,岩性复杂、种类繁多,侵入时代由元古宙、早古生代至晚古生代,其中以晚古生代岩浆活动最为发育,可能在燕山期也有少量的岩浆活动(冯益民等,2002)。

大面积的早古生代片麻状花岗岩主要分布在天山东段中天山隆起带,但以尖山子断裂以南更为广泛,多数岩体分布在天湖至星星峡一带,近来在红柳河断裂附近也有发现有一些早古生代花岗岩体(李伍平等,2001)。天湖东岩体为出露在天湖东侧的片麻状花岗岩。它们多以长条带状产出,其分布方向与区域构造线方向大体一致,侵入元古代和寒武纪的变质岩,又被晚古生代花岗岩所穿插。在天湖车站东约16km处,可见下二叠统红柳河组下亚组的砂岩、砾岩不整合覆盖本期片麻状花岗岩之上^①。区内的元古宙的花岗岩主要出露在转井山和星星峡山一带(胡霁琴等,1986),与早古生代片麻状花岗岩之间未见直接关系(图1)。

天湖东岩体呈北东向展布长约20km,宽可达几百米至2~3km(图1中样品点5为本文中研究中涉及的岩体),还有几条岩体与之近于平行分布,比如样品点1(胡霁琴等,1986)和样品点2(顾连兴等(1990),以及样品点3和4(李伍

平等,2001)等。我们在天湖车站东沿铁路的光缆线剖面穿过岩体。片麻状花岗岩为灰白色,具有中粗粒或粗粒结构,少数地段有些含有红色长石斑晶的片麻状花岗岩。从野外观察看,该岩体与转井山元古宙花岗岩有以下几点不同之处:无大的眼球状斑晶,岩体成分比较均一,片麻状构造为主,岩石中少见老地层的捕虏体和其它包裹体或分离体等。岩石为灰白色,细粒结构,鳞片花岗变晶结构,片麻状构造。主要矿物有斜长石(An16,20%~30%);微斜长石(30%~40%);石英(30%~35%);黑云母(3%~5%,局部达25%~35%);角闪石(少量);白云母(1%~3%);微量的磷灰石、锆石、磁铁矿、榍石、褐帘石^①。

3 天湖东岩体岩石地球化学特征

3.1 主量和微量元素

研究工作中在天湖以东地区41°36′08.3″,94°34′02.1″至41°36′46.8″,94°32′52.8″范围内采集了岩石化学分析样品。元素分析在中国科学院广州地球化学研究所同位素年代学和地球化学重点实验室完成,应用 XRF 方法(Rigaku ZSX100e)做主量元素分析,误差<1%,其中Fe₂O₃为全铁百分含量;微量元素应用 ICP-MS 分析(PE ELAN 6000),误差5%~10%,分析结果见表1。我们将研究区内所有片麻状花岗岩的主量和微量元素分析结果一起放在图2中,以资相互对比。包括地质部新疆维吾尔自治区地质局,1966(表1中样品号为30803)^①;胡霁琴等,1986(表1中SH440、SH363和SH375样品的主量元素);张遵忠等,2004(图2c、d中样品号2062,2157,2181,2188,2189),其余分析结果均为本文数据。从图2可以看出,天湖地区片麻状花岗岩的岩石化学成分比较均一,各项研究结果均可以相互对比。

计算得到所有片麻状花岗岩的DF>1,表明其母岩为岩浆岩类岩石。片麻状花岗岩的SiO₂含量为63.1%~73.4%,有一个样品为74.9%(张遵忠等,2004),Al₂O₃为13.4%~16.4%,Na₂O+K₂O为5.30%~8.9%,在A/NK-A/CNK图(图2a)中,样品点均分布在A/CNK=0.9~1.15(本文的样品均分布在0.91~1.10范围内),A/NK大于1.2~2.2范围内,即表示多数片麻状花岗岩具有准铝质的特征。在图2b中天湖东片麻状花岗岩落在二长花岗岩和花岗闪长岩区域。REE总含量为(147~388)×10⁻⁶(本文样品(185~217)×10⁻⁶);LREE相对富集,La_N/Sm_N(3.1~5.8,本文为4.0~4.4);HREE的分布曲线相对平缓,Gd_N/Yb_N(0.72~2.4,本文为1.2~2.0),为具有中等的Eu负异常或小的正异常向右倾斜的一组曲线(图2c),其δ_{Eu}为0.41~1.2(本文为0.41~0.64),La_N/Yb_N为3.2~24.6(本文为9.3~15.8)。微量元素蛛网图中(图2d)Rb、K、U、Th、Pb等元素显著富集,

① 地质部新疆维吾尔自治区地质局. 1966. 中华人民共和国地质图说明书,沙泉子幅(K46-XXIII,比例尺1:200000)。乌鲁木齐

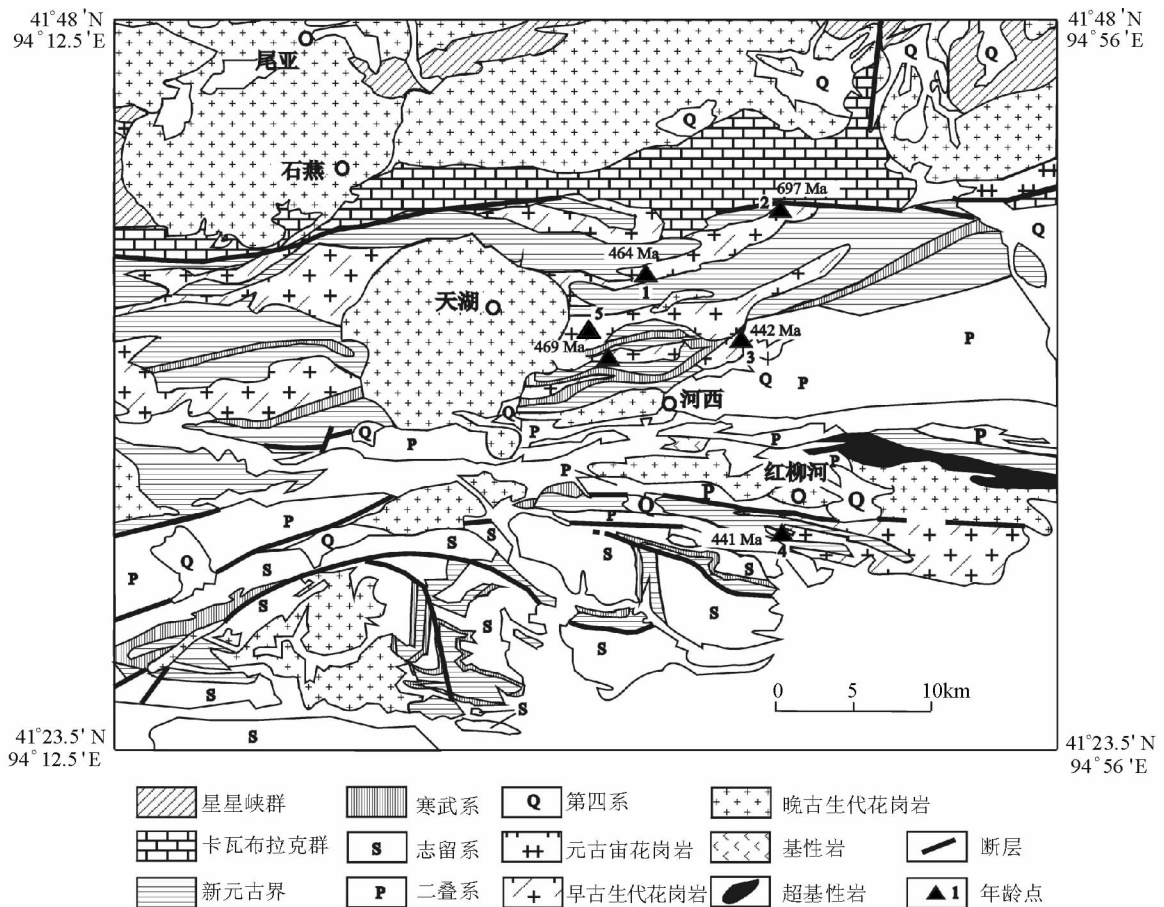


图1 东天山天湖地区地质简图(据1:200000沙泉子幅地质图改编)

样品点1据胡霏琴等(1986);样品点2据顾连兴等(1990);样品点3,4据李伍平等(2001);样品点5据本文

Fig.1 Simplified geological map of Tianhu area in the eastern Tianshan mountains, Xinjiang, China (modified after 1:200000 Shaquanzi geological map)

并有明显的 Nb、P、Ti 的负异常。Rb/Sr 比值 0.15 ~ 1.9 (本文为 0.15 ~ 0.71), K/Rb 比值 184 ~ 332 (本文为 237 ~ 290)。从稀土元素分布图和微量元素蛛网图特征看,天湖东花岗岩具有岛弧钙碱性岩浆岩的特征。

3.2 Nd-Sr 同位素组成

在本实验室的 Isoprobe MC-ICPMS 仪器上完成了天湖东岩体中 3 个片麻状花岗岩的 Nd-Sr 同位素组成分析,结果见表 1。片麻状花岗岩的 $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ 比值为 0.43 ~ 2.05, I_{Sr} 变化于 0.7124 ~ 0.7138, $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$ 在 0.0922 ~ 0.1149, $\varepsilon_{\text{Nd}}(t = 467\text{Ma})$ 在 -4.9 ~ -7.0, t_{DM} 为 1.4 ~ 1.7Ga。说明在天湖东岩体原岩成分中含有相当数量天山基底古老物质,这些特征也反映了岛弧岩浆岩的特征。

4 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄测定结果和讨论

用于分选锆石的定年样品采集位置为 $41^{\circ}36'39.2''$, 94°

$33'09.1''$ 。分选锆石的片麻状花岗岩的化学成分为二长花岗岩,其铝饱和指数 ASI 为 1.08。为了使锆石在分选过程中不受到样品之间的混染,我们使用一块 1 ~ 2kg 新鲜的岩石样品,经过单独的破碎、重砂、电磁等程序分离出非电磁性的锆石,并经双目镜下精心地挑选出不带包裹物、无裂隙、透明度好的 100 多个锆石晶体颗粒准备用于 SHRIMP U-Pb 年龄分析。锆石为淡棕色,透明、晶未浑圆、多为 $\{100\} + \{111\}$,少量为 $\{311\} + \{111\}$ 聚形,晶体长 0.25 ~ 0.18mm,长短向之比为 (2 ~ 3) : 1 或 (4 ~ 5) : 1。为了进一步揭示锆石晶体结构特征,在中国科学院广州地球化学研究同位素年代学和地球化学重点实验室 JXA-8100 仪器上作了锆石阴极发光图像研究(图 3)。从阴极发光图中可以看到,该片麻状花岗岩中锆石的形态多种多样,晶体大小的差异也很大,多数锆石的环带清晰,又多具有新的生长边,比如, D3、D4、D5、D15,特别明显的是 D11 号晶体,锆石的这种结构特征可能与区域内强烈的晚古生代岩浆活动对早古生代岩石的影响而造成的结果。

表1 天湖东片麻状花岗岩的主量元素(wt%)、微量元素($\times 10^{-6}$)和Nd-Sr同位素分析结果Table 1 Analyses of major elements(wt%), trace elements ($\times 10^{-6}$) and Nd-Sr isotopic compositions for the East Tianhu granitic gneisses

样品号	02XH-36b	02XH-37a	02XH-39a	02XH-41a	02XH-46a	02XH-48a	SH440	SH363	SH375	31803
SiO ₂	71.55	70.56	63.06	63.75	73.39	73.25	71.34	67.22	67.16	68.10
TiO ₂	0.31	0.34	0.84	0.80	0.25	0.24	0.20	0.50	0.57	0.48
Al ₂ O ₃	14.54	14.38	16.39	16.27	13.44	13.79	14.62	14.19	14.37	14.64
Fe ₂ O ₃	2.45	2.33	6.21	5.77	2.12	2.07	0.49	1.18	1.64	0.72
FeO	0	0	0	0	0	0	1.39	3.37	2.45	2.56
MnO	0.05	0.04	0.07	0.07	0.04	0.05	0.04	0.04	0.06	0.06
MgO	0.87	1.09	1.79	1.85	0.57	0.51	0.31	1.37	1.10	1.24
CaO	1.70	1.30	5.03	4.53	1.46	1.43	2.15	2.49	3.05	3.05
Na ₂ O	2.90	2.61	2.85	2.59	2.72	2.71	3.10	2.75	3.10	2.94
K ₂ O	5.16	6.35	2.46	3.25	4.74	5.12	4.70	4.20	4.80	4.24
H ₂ O _p							1.23	0.83	1.06	0.98
P ₂ O ₅	0.09	0.10	0.26	0.27	0.06	0.05	0.06	0.12	0.11	(V ₂ O ₅)0.03
烧失量	0.81	0.99	0.59	0.86	0.83	0.82	0.63	1.03	0.69	
总量	100.42	100.09	99.54	100.01	99.62	100.05	100.26	99.29	100.16	99.04
DF	1.72	1.76	1.71	1.42	1.13	1.41	2.76	1.07	2.67	2.05

样品号	-36b	-39a	-46a	5H440	样品号	-36b	-39a	-46a	5H440
Sc	6.31	10.65	5.45	4.04	La	44.3	47.4	48.6	29.38
Ti	1932	4876	1516		Ce	82.6	94.1	95.7	53.34
V	46.1	118.3	24.2	8.32	Pr	9.24	10.79	10.49	6.28
Cr	15.0	12.74	22.4	11.72	Nd	30.6	39.4	38.1	22.05
Mn	376	491.4	373		Sm	4.67	6.74	6.83	4.191
Co	2.99	11.97	2.59	1.555	Eu	0.908	1.41	1.105	0.698
Ni	3.17	5.17	3.37	2.55	Gd	3.989	6.12	5.63	4.21
Cu	6.97	10.33	4.81	3.94	Tb	0.506	0.806	0.778	0.754
Zn	54.2	68.6	47.9	12.18	Dy	2.92	4.33	4.18	4.764
Ga	15.56	19.2	13.25	16.89	Ho	0.601	0.811	0.786	1.094
Ge	1.53	1.509	1.324		Er	1.85	2.29	2.115	3.418
Rb	181	75.3	135.5	148	Tm	0.30	0.320	0.286	0.518
Sr	255.1	503	315	415.9	Yb	2.04	2.076	1.909	3.282
Y	17.12	22.36	19.18	30.17	Lu	0.323	0.313	0.265	0.484
Zr	137.8	182	109.4	108.0	⁸⁷ Rb/ ⁸⁶ Sr	2.05	0.43	1.25	1.03
Hf	3.81	4.30	2.74	3.056	⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr	0.726849	0.715267	0.721888	0.720699
Nb	16.03	15.7	11.53	10.64	2 σ	0.000013	0.000010	0.000012	0.000020
Ta	1.28	1.104	1.002	0.880	I _{Sr}	0.7132	0.7124	0.7136	0.7138
Cs	2.120	0.965	1.165		¹⁴⁷ Sm/ ¹⁴⁴ Nd	0.0922	0.1033	0.1084	0.1149
Ba	1093	1229	927	874	¹⁴³ Nd/ ¹⁴⁴ Nd	0.512033	0.512103	0.512095	0.512027
Pb	17.60	5.69	20.12	24.46	2 σ	0.000007	0.000009	0.000009	0.000005
Th	16.46	11.96	16.5	12.94	$\epsilon_{Nd}(t)$	-5.5	-4.9	-5.3	-7.0
U	3.65	2.52	1.601	1.5	t _{DM}	1.4	1.4	1.5	1.7

锆石的U、Th-Pb同位素年龄测定工作在中国地质科学院地质研究所北京离子探针中心SHRIMP II仪器上完成,分析原理和流程参考见Compston *et al.* (1992), Williams and Claesson, (1987)和刘敦一等(2003)。研究中测定了18颗不同大小、不同形态的锆石,在表2中列出了锆石的单次测量结果。

研究中分析了该片麻状花岗岩样品02XH36中形态不一、大小不等的18颗锆石晶体。因为曾用Rb-Sr等时线方法将该岩体定为晚前寒武纪澄江期花岗岩(顾连兴等,1990;张遵忠等,2004),为了检验天湖东岩体的锆石中是否有元古宙古老锆石或老的年龄信息存在,所以在分析中的测点都取在晶体的核心部位。分析结果表明,18个测定点所得到的年龄均分布在早古生代时间范围内,无任何前寒武纪的年龄出现(表2)。全部测点的U含量分布在(176~1064) $\times 10^{-6}$ 之间,多数(11个)集中在(176~339) $\times 10^{-6}$,其余在(510~

1064) $\times 10^{-6}$ 之间,U含量最高的测点是D11.1和D15.1,这二个测点的锆石晶体外部新的生长边最为发育(图3中D11.1和D15.1)。Th/U比值在0.19~0.82,其中10个测点在0.51~0.63,7个测点在0.19~0.45,只有一个测点的Th/U比值高达0.82(D5.1)。锆石的放射性成因铅²⁰⁶Pb的含量在(11.8~69.4) $\times 10^{-6}$,其中12个测点在(11.8~32.0) $\times 10^{-6}$ 之间,含放射性成因铅最高的测点为D15.1和D11.1,与其U含量相匹配。锆石的普通铅含量在0.5%~2.6%。由表2中18个锆石测点的年龄测定结果看到,²⁰⁶Pb/²³⁸U年龄的单个测量误差约为3%,其年龄测定误差主要是与分析中使用的标准样在测量过程中的波动有关,与锆石的结构特征、U和Pb含量,以及Th/U比值均无直接关系。18个测点的²⁰⁶Pb/²³⁸U比值年龄分布在434.7~513.7Ma之间,无论在晶体核部,还是幔部均没有发现任何晚前寒武纪的残留锆石或年龄信息。其中,测点(D7.1)年龄相对偏高,属异常测点,

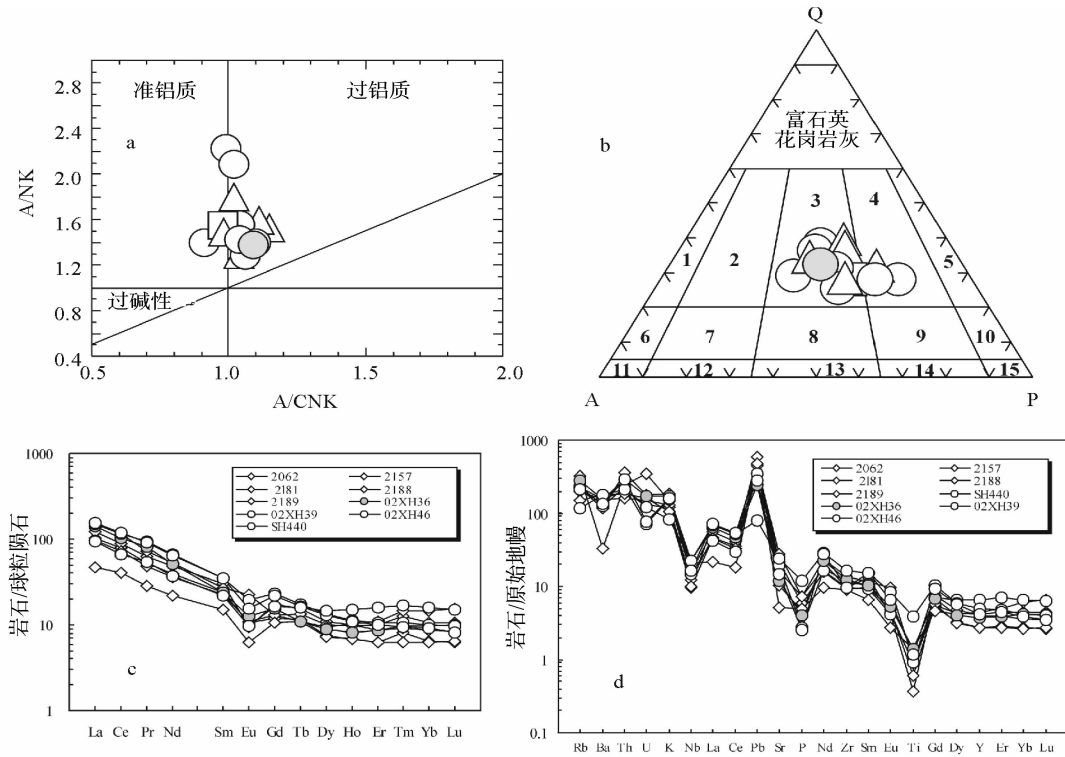


图2 天湖东片麻状花岗岩地球化学图解。岩石分类图(a, b)、REE 分布图(c)、微量元素蛛网图(d)

图2a和b中：□据地质部新疆维吾尔自治区地质局(1966)^①，△据张遵忠等(2004)，○为本文定年样品；图2a中： $A/NK = Al_2O_3/(Na_2O + K_2O)$ ， $A/CNK = Al_2O_3/(CaO + Na_2O + K_2O)$ 均为分子数比值，A/CNK 也称为 ASI(铝饱和度)；图2b中：1-碱性长石花岗岩,2-正长花岗岩,3-二长花岗岩,4-花岗闪长岩,5-英云闪长岩,6-石英碱性长石正长岩,7-石英正长岩,8-石英二长岩,9-石英二长闪长岩,10-石英闪长岩,11-碱性长石正长岩,12-正长岩,13-二长岩,14-二长闪长岩,15-闪长岩

Fig.2 Diagrams of geochemistry for East Tianhu granitic gneisses. Classification diagrams (a, b), REE patterns (c), trace spidergrams (d)

表2 天湖东片麻状花岗岩中锆石 SHRIMP U、Th-Pb 年龄分析结果

Table 2 SHRIMP U, Th - Pb dating for zircons of the East Tianhu granitic gneiss

点号	$^{206}Pb_c$ (%)	U ($\times 10^{-6}$)	Th ($\times 10^{-6}$)	Th/U	$^{206}Pb^*$ ($\times 10^{-6}$)	$\frac{^{206}Pb}{^{238}U}$		$\frac{^{207}Pb}{^{235}U}$		$\frac{^{208}Pb}{^{232}Th}$		± %	$\frac{^{207}Pb^*}{^{235}U}$	± %	$\frac{^{206}Pb}{^{238}U}$		
						年龄	1σ	年龄	1σ	年龄	1σ				年龄	± %	
D1.1	1.6	323	200	0.62	20.7	457	13	439	59	449	32	0.0225	7.2	0.54	11	0.0734	3.0
D2.1	2.5	817	515	0.63	56.1	484	14	473	39	513	27	0.0257	5.3	0.59	6.6	0.0780	2.9
D3.1	1.0	510	115	0.23	32.0	450	13	474	39	545	54	0.0273	9.9	0.59	6.7	0.0723	3.0
D4.1	2.4	271	141	0.52	16.8	438	13	419	64	443	41	0.0221	9.4	0.51	13	0.0704	3.0
D5.1	1.1	339	279	0.82	22.6	476	14	494	41	497	24	0.0249	4.9	0.63	6.6	0.0767	3.1
D6.1	2.2	212	62	0.29	13.0	435	13	429	60	504	68	0.0253	13	0.53	12	0.0698	3.1
D7.1	2.6	624	371	0.59	45.7	514	15	478	41	537	30	0.0269	5.5	0.60	6.8	0.0829	2.9
D8.1	2.4	205	92	0.45	12.7	438	14	446	98	467	72	0.0234	16	0.55	18	0.0702	3.2
D9.1	1.6	288	177	0.61	19.0	471	14	455	79	460	37	0.0230	8.1	0.57	14	0.0757	3.0
D10.1	2.8	176	101	0.57	11.8	473	15	496	111	516	67	0.0258	13	0.63	18	0.0762	3.2
D11.1	0.48	946	305	0.32	65.0	493	14	485	27	514	27	0.0257	5.3	0.61	4.3	0.0795	2.9
D12.1	1.1	268	102	0.38	17.6	470	14	506	60	532	53	0.0266	10	0.65	9.4	0.0756	3.1
D13.1	0.51	738	137	0.19	50.5	492	14	495	29	535	46	0.0268	8.6	0.63	4.6	0.0793	2.9
D14.1	1.0	304	176	0.58	20.5	482	14	516	67	592	46	0.0297	7.7	0.66	10	0.0777	3.1
D15.1	2.5	1064	441	0.41	69.4	461	13	461	38	462	35	0.0231	7.6	0.58	6.7	0.0741	2.9
D16.1	2.5	274	162	0.59	18.9	485	15	449	85	472	55	0.0236	12	0.56	16	0.0781	3.1
D17.1	0.79	655	412	0.63	43.7	478	14	492	33	518	25	0.0260	4.9	0.62	5.2	0.0770	2.9
D18.1	2.0	252	129	0.51	16.5	464	14	456	57	483	40	0.0242	8.3	0.57	10	0.0746	3.1

$^{206}Pb^*$ $^{207}Pb^*$ $^{208}Pb^*$ 表示放射性成因铅同位素； $^{206}Pb_c$ 表示普通铅

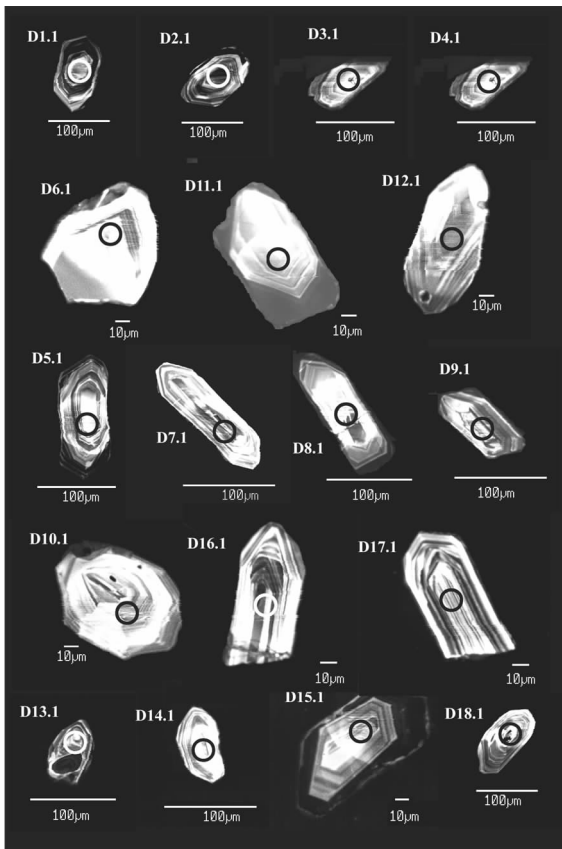


图3 天湖东片麻状花岗岩中锆石阴极发光图像

Fig. 3 Cathodoluminescence photos for zircons from the East Tianhu granitic gneiss

主要体现在标准锆石的波动对分析结果的影响,与测量时的仪器状态有关。计算年龄时将这个测点的年龄值去掉后,17个测点的加权平均年龄为 $466.5 \pm 9.8 (2\sigma)$ Ma, 为锆石结晶年龄,可以作为天湖东二长花岗岩的形成年龄。

5 天湖东岩体形成时代及其构造演化的意义

我们曾在该片麻状花岗岩体的北支花岗岩体中(红柳井附近,图1中的1号样品点),得到组分锆石粗略的 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 比值年龄464Ma(胡霭琴等,1986),与本文结果大体一致。天湖东岩体中锆石的SHRIMP $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄 $466.5 \pm 9.8 (2\sigma)$ Ma,更精确地确定了天湖-星星峡地区的二长花岗岩-花岗闪长岩质的片麻状花岗岩为中奥陶世的侵入体。分析的18个锆石测点中未发现有任何晚前寒武纪的残存锆石或时代信息,这个研究结果对顾连兴等(1990)和张遵忠等(2004)依据Rb-Sr等时线年龄提出天湖东岩体是“澄江期花岗岩”的结论,得出了截然不同的认识,因而对该花岗岩形成的大地构造环境,以及天山造山带的构造演化将有完全不同的认识。

地质历史中所发生过的任何岩浆活动都是成期次的,或

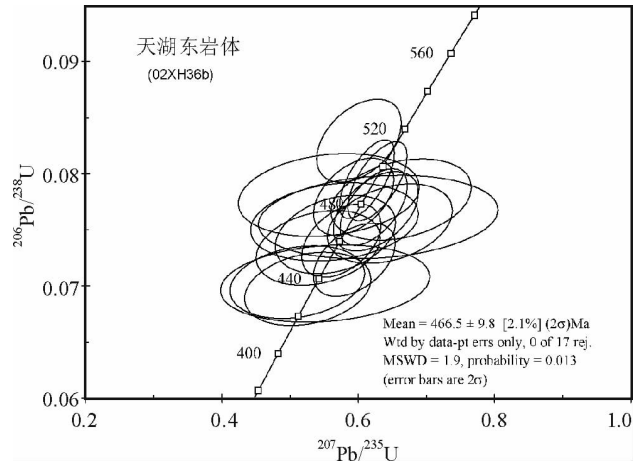


图4 天湖东片麻状花岗岩中锆石 U-Pb 谐合图

Fig. 4 U-Pb Concordia for Zircons of the East Tianhu granitic gneiss

称之为岩浆活动幕。近年来依据可靠的锆石 U-Pb 年龄研究结果,在天山造山带其它地段相继发现了一些年龄在 478 ~ 420Ma 范围内早古生代花岗岩体。比如,东天山河西、红柳河地区的闪长岩(441 ± 2 Ma)和花岗岩(441 ± 3 Ma)(李伍平等,2001);哈密地区小盐池北约 3km 处的二长闪长岩($427\text{Ma} \pm 8\text{Ma}$,王德贵等,2006);哈尔里克山南坡塔水河一带的钾长花岗岩($462 \pm 9\text{Ma}$)、花岗闪长岩($447 \pm 11\text{Ma}$)、石英闪长岩($448 \pm 7\text{Ma}$)(曹福根等,2006);哈尔里克山口门子一带石英闪长岩($429.6\text{Ma} \pm 6.2\text{Ma}$,郭华春等,2006);中天山天格尔山脉乌库公路糜棱岩化花岗岩($441.6 \pm 3.8\text{Ma}$,朱永峰和宋彪,2006);中天山干沟一带的强烈变形的眼球状花岗岩($428 \pm 10\text{Ma}$,石玉若等,2006);西天山的伊犁地块南缘那拉提山北缘断裂以北,新源林场东的二长花岗岩($436 \pm 8\text{Ma}$,朱志新等,2006); Gao *et al.* (2006)①还报导了阿喀孜河附近花岗岩的年龄为 478Ma,克苏河地区出露的花岗岩年龄为 433Ma,琼库什台河地区花岗岩的年龄为 430Ma,霍拉山花岗岩的年龄为 420Ma 等;韩宝福等(2004)发表了巴音布鲁克以东约 20 km 戈伦塔古什片麻状斜长花岗岩锆石 U-Pb 下交点年龄为 $421 \pm 11\text{Ma}$,库尔勒—野云沟以北的霍拉山一带的艾西买依根糜棱质花岗岩 $475.2 \pm 2.6\text{Ma}$,库米什镇以北阿克塔西附近的灰白色片麻状花岗岩为 $457.5 \pm 1.8\text{Ma}$,拉尔墩达坂钾长花岗岩为 $457 \pm 27\text{Ma}$,巴伦台以南的公路旁灰色黑云母花岗岩 $456.2 \pm 0.6\text{Ma} \sim 449.6 \pm 1.1\text{Ma}$ (韩宝福等,2004)。根据最新的国际地层年表中给出的志留纪上限年龄为 $416.7 \pm 2.7\text{Ma}$,以上这些结果说明在东、西天山造山带中均存在有 $478 \sim \geq$

① Gao J, klemd R, Qian Q, Long L and Xiong X. 2006. The South Tianshan in northwestern China: A Late Paleozoic or a Triassic collisional orogenic belt between the Tarim and Yili blocks? 海峽兩岸學術研討會“亞洲大陸增生與造山作用”,2006年3月19日至26日,台北,中央研究院地球科学研究所,99~100。

440Ma 和 <440 ~ 420Ma 的两个早古生代岩浆活动时期,即奥陶纪和志留纪的的两期侵入活动,本研究中的天湖东花岗岩体(含红柳井岩体)属于早古生代早期的岩浆岩。

自 1986 年西北大学和新疆地矿局 11 大队研究组(1986)报道了托克逊以南中天山发现早志留世笔石动物群之后,中天山存在早古生代火山活动初步得到古生物地层的证据,但是对东天山早古生代板块活动性质的争议也开始了。马瑞士等(1993)认为中天山早古生代岛弧构造带是在寒武纪后古准噶尔-天山大洋向塔里木板块北缘的俯冲、弧后扩张而形成的。舒良树等(1998)进一步指出,介于吐哈陆块和塔里木大陆之间的洋壳从晚寒武世或早奥陶世开始沿现在的中天山北缘带向南俯冲,在古塔里木大陆北缘变质基底上形成奥陶—志留纪岩浆-火山弧;到志留纪发生弧后微型扩张形成库米什-红柳河边缘海,构成早古生代活动陆缘。朱宝清等(2002)则提出托克逊县干沟一带出露的早古生代蛇绿混杂岩和志留纪前陆盆地沉积,其时空配置表明,中天山北缘早古生代大洋在奥陶纪曾发生大规模的向北消减,志留纪因前陆和岛弧的碰撞而形成前陆盆地,俯冲开始于奥陶纪结束于(386.1 ± 4.1)Ma 之前。因此,目前仍存在着关于“中天山北缘早古生代大洋”在奥陶纪时消减方向以及中天山岛弧形成机制的争议(朱宝清等,2002;马瑞士等,1993;舒良树等,1998)。

本研究用高精度的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄,确定了出露在天山东段广泛地区的片麻状花岗岩为早古生代形成的花岗岩,岩石的元素和 Nd-Sr 同位素组成均指出,它们具有二长花岗岩-花岗闪长岩的岩石化学成分,具有钙碱性岩浆岩的特征。这一研究结果为进一步探讨早古生代时期古亚亚洲洋的闭合时间有重要的参考价值。

致谢 本研究中锆石 U-Pb SHRIMP 分析中得到中国地质科学院北京离子探针分析中心刘敦一、宋彪等大力支持与帮助;元素分析得到中国科学院广州地球化学研究所同位素年代学和地球化学重点实验室梁细荣、涂湘林、刘颖、胡光黔、曾文等同事热情帮助和合作,在此一并致以衷心的感谢。

References

Cao FG, Tu QJ, Zhang XM, Ren Y, Li SL and Dong FR. 2006. Preliminary determination of the Early Paleozoic magmatic arc in the Karlik Mountains, East Tianshan, Xinjiang, China—Evidence from zircon SHRIMP U-Pb dating of granite bodies in the Tashuihe area. *Geological Bulletin of China*, 25(8): 923–927 (in Chinese with English abstract)

Compston W, Williams IS, Kirschvink JL, Kirschvink JL, Zhang ZC and Ma GG. 1992. Zircon U-Pb ages of early Cambrian time scale. *J. Geol. Soc.*, 149: 171–184

Feng YM, Zhu BQ, Yang JL and Zhang KC. 2002. Tectonics and evolution of the eastern Tianshan Mountains a brief introduction to tectonic map (1 : 500000) of the eastern Tianshan Mountains of Xinjiang. *Xinjiang Geology*, 20(4): 309–314 (in Chinese with English abstract)

Gu LX, Yang H, Tao XC, Yan ZF, Li HM, Wang JD and Liu YD. 1990. Rb-Sr geochronology of granitites in the east section of the mid-

Tianshan belt and its tectonic evolution. *Journal of Guilin College of Geology*, 10(1): 49–56 (in Chinese with English abstract)

Group of study of Xibei University and the 11th Geological party, Bureau of Geology and Mineral Resources of Xinjiang. 1986. Graptolite fauna of Early Silurian found in the south of Toksun county, Middle Tianshan. *Xinjiang Geology*, 4(4): 85–86 (in Chinese with English abstract)

Guo HC, Zhong L and Li LQ. 2006. Zircon SHRIMP U-Pb daang of quartz diorite in the Koumenzi area, Karlik Mountains, East Tianshan, Xinjiang, China, and its geological significance. *Geological Bulletin of China*, 25(8): 928–931 (in Chinese with English abstract)

Han BF, He GQ, Wu TR and Li HM. 2004. Zircon U-Pb Dating and geochemical features of early Paleozoic granites from Tianshan, Xinjiang; Implications for tectonic evolution. *Xinjiang Geology*, 22(1): 4–11 (in Chinese with English abstract)

Hu AQ, Zhang JB, Zhang ZG, Zhao DJ, Liu JY, Yang SZ, Peng JH and Zhou W. 1986. U-Pb age and evolution of Precambrian metamorphic rocks of middle Tianshan uplift zone, eastern Tianshan, China. *Geochimica*, (1): 23–25 (in Chinese with English abstract)

Li WP, Wang T, Li JB *et al.* 2001. Petrology, Geochemistry of Hercynian granite of HongLiuhe area and its tectonic setting in Eastern Tianshan Mountains, Western China. *Geological Review*, 47(4): 368–376 (in Chinese with English abstract)

Liu DY, Jian P, Zhang Q, Zhang FQ, Shi YR, Shi GH, Zhang NQ and Tao H. 2003. SHRIMP Dating of Adakines in the Tulingkai Ophiolite, Inner Mongolia; Evidence for the Early Paleozoic Subduction. *Acta Geologica Sinica*, 77(3): 317–327 (in Chinese with English abstract)

Long LL, Gao J, Xiong XM and Qian Q. 2006. The geochemical characteristics and the age of the Kule Lake ophiolite in the southern Tianshan. *Acta Petrologica Sinica*. 22(1): 65–73 (in Chinese with English abstract)

Ma RS, Wang CY and Ye SF. 1993. Tectonic framework and crustal evolution of eastern Tianshan mountains. Nanjing: Publishing House of Nanjing University, 32–47 (in Chinese with English abstract)

Shi YR, Liu DY, Zhang Q, Jian P, Zhang FQ and Miao LC. 2006. SHRIMP zircon U-Pb dating of the Gangou granitoids, Central Tianshan Mountains, Northwest China and tectonic significances *Chinese Science Bulletin*, 52(22): 2665–2672 (in Chinese)

Shu LS, Charvet J and Ma RS. 1998. Study of a large scale Paleozoic dextral strike-SL IP ductile shear zone along the northern margin of the central Tianshan, Xinjiang. *Xinjiang Geology*, 16(4): 326–336 (in Chinese with English abstract)

Wang DG, Zhang XM and Fu HX. 2006. SHRIMP U-Pb dating of zircons from the north Xiaoyanchi monzodiorite, East Tianshan, Xinjiang, China. *Geological Bulletin of China*, 25(8): 966–968 (in Chinese with English abstract)

Williams IS and Claesson S. 1987. Isotope evidence for the Precambrian province and Caledonian metamorphism of high grade paragneiss from the Save Nappes, Scandinavian Caledonides, I. Ion microprobe zircon U-Th-Pb. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 97: 205–217

Zhang ZZ, Gu LX, Yang H, Wu CZ, Wang YX and Min MZ. 2004. Characteristics and genesis of the Chengjiangian gneissic granites in the east section of the Middle Tianshan Mountain areas; Taking the Tianhudong granite as an example. *Acta Petrologica Sinica*, 20(3): 595–608 (in Chinese with English abstract)

Zhu BQ, Feng YM, Yang JL and Zhang KC. 2002. Discovery of ophiolitic mélange and Silurian foreland basin at Gangou of Tokexun, Xinjiang and their tectonic significance. *Xinjiang Geology*, 20(4): 326–330 (in Chinese with English abstract)

Zhu YF and Song B. 2006. Petrology and SHRIMP chronology of mylonitized Tianger granite, Xinjiang; Also about the dating on hydrothermal zircon rim in granite. *Acta Petrologica Sinica*, 22(1): 135–144 (in Chinese with English abstract)

Zhu ZX, Wang KZ, Zheng YJ, Sun GH, Zhang C and Li YP. 2006. Zircon SHRIMP dating of Silurian and Devonian granitic intrusions in the southern Yili block, Xinjiang and preliminary discussion on their tectonic setting. *Acta Petrologica Sinica*, 22(5): 1193–1200 (in Chinese with English abstract)

附中文参考文献

- 曹福根,涂其军,张晓梅,任燕,李嵩龄,董富荣. 2006. 哈尔里克山早古生代岩浆弧的初步确定-来自塔水河一带花岗质岩体锆石 SHRIMP U-Pb 测年的证据. 地质通报, 25(8): 923-927
- 冯益民,朱宝清,杨军录,张开春. 2002. 东天山大地构造及演化 - 1: 50 万东天山大地构造图简要说明. 新疆地质, 20(4): 309-314
- 顾连兴,杨洁,陶仙聪,严正富,李惠民,王金东,刘彦东. 1990. 中天山东段花岗岩铷-锶年代学及构造演化. 桂林冶金地质学院学报, 10(1): 49-56
- 郭华春,钟莉,李丽群. 2006. 哈尔里克山口门子地区石英闪长岩锆石 SHRIMP U-Pb 测年及其地质意义. 地质通报, 25(8): 928-931
- 韩宝福,何国琦,吴泰然,李惠民. 2004. 天山早古生代花岗岩锆石 U-Pb 定年、岩石地球化学特征及其大地构造意义. 新疆地质, 22(1): 4-11
- 胡霏琴,张积斌,章振根,赵殿甲,刘菊英,杨升祖,彭建华,周位. 1986. 天山东段中天山隆起带前寒武纪变质岩系时代及演化: 据 U-Pb 年代学研究. 地球化学, (1): 23-25
- 李伍平,王涛,李金宝等. 2001. 东天山红柳河地区海西期花岗岩的岩石学、地球化学及其构造环境. 地质论评, 47(4): 368-376
- 刘敦一,简平,张旗,张福勤,石玉若,施光海,张履桥,陶华. 2003. 内蒙古固林凯蛇绿岩中埃达克岩 SHRIMP 测年: 早古生代洋壳消减的证据. 地质学报, 77(3): 317-327
- 龙灵利,高俊,熊贤明,钱青. 2006. 南天山库勒湖蛇绿岩地球化学特征及其年龄. 岩石学报, 22(1): 65-73
- 马瑞士,王赐银,叶尚夫等. 1993. 东天山构造格架及地壳演化. 南京: 南京大学出版社, 32-47
- 石玉若,刘敦一,张旗,简平,张福勤,苗来成. 2006. 中天山干沟一带花岗质岩类 SHRIMP 年代学及其构造意义. 科学通报, 51(22): 2665-2672
- 舒良树,夏飞雅克,马瑞士. 1998. 中天山北缘大型右旋走滑韧剪带研究. 新疆地质, 16(4): 326-336
- 王德贵,张晓梅,伏红霞. 2006. 东天山小盐池北二长闪长岩锆石 SHRIMP U-Pb 测年. 地质通报, 25(8): 966-968
- 西北大学和新疆地矿局十一大队研究组. 1986. 托克逊以南中天山发现早志留世笔石动物群. 新疆地质, 4(4): 85-86
- 张遵忠,顾连兴,杨浩,吴昌志,王银喜,闵茂中. 2004. 中天山东段澄江期片麻状花岗岩特征和成因: 以天湖东岩体为例. 岩石学报, 20(3): 598-608
- 朱宝清,冯益民,杨军录,张开春. 2002. 新疆中天山干沟一带蛇绿混杂岩和志留纪前陆盆地的发现及其意义. 新疆地质, 20(4): 326-330
- 朱永峰,宋彪. 2006. 新疆天格尔糜棱岩化花岗岩的岩石学及其 SHRIMP 年代学研究: 兼论花岗岩中热液锆石边的定年. 岩石学报, 22(1): 135-144
- 朱志新,王克卓,郑玉洁,孙桂华,张超,李亚萍. 2006. 新疆伊犁地块南缘志留纪和泥盆纪花岗质侵入体锆石 SHRIMP 定年及其形成时构造背景的初步探讨. 岩石学报, 22(5): 1193-1200