

DOI:10.16788/j.hddz.32-1865/P.2020.02.004

引用格式:陈士海,钟文,张健仁. 新疆南天山景汗花岗质岩体年代学、地球化学特征及其构造意义[J]. 华东地质, 2020, 41(2):128-141.

新疆南天山景汗花岗质岩体年代学、 地球化学特征及其构造意义

陈士海^{1,2}, 钟文², 张健仁²

(1. 南京大学地球科学与工程学院, 南京 210093; 2. 江西省地质调查研究院, 南昌 330030)

摘要: 位于新疆南天山和硕县北部的景汗花岗质岩体, 为研究南天山造山带构造演化提供了重要信息。岩体岩性以二长花岗岩为主, 石英二长闪长岩和二云母花岗岩次之。LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年结果表明, 岩体成岩年龄为 $(311.3 \pm 4.4) \text{ Ma} \sim (297.2 \pm 4.2) \text{ Ma}$, 属晚石炭世岩浆活动的产物。岩体 SiO_2 含量为 $54.20\% \sim 74.22\%$, 全碱(ALK)为 $5.12\% \sim 9.25\%$, 具有高钾钙碱性系列岩石的特征。A/CNK 值为 $0.77 \sim 1.07$, 属于准铝质-弱过铝质花岗岩类。 ΣREE 为 $(44 \sim 288) \times 10^{-6}$, $(\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}}$ 值为 $1.83 \sim 44.75$, 表明轻稀土元素富集较为明显。 δEu 值为 $0.54 \sim 0.93$, 整体表现为弱亏损特征。花岗质岩浆可能是地壳的部分熔融的产物, 并与幔源基性岩浆发生过混合作用。该岩体形成于塔里木板块与伊犁—哈萨克斯坦板块碰撞造山作用晚期阶段, 属于碰撞-后碰撞构造环境, 南天山晚古生代残余海盆在晚石炭世最终闭合。

关键词: 构造环境; 高钾钙碱性系列; 锆石 U-Pb 定年; 新疆南天山

中图分类号: P588.12

文献标识码: A

文章编号: 2096-1871(2020)02-128-14

南天山造山带位于中亚造山带中南部, 是由塔里木板块与伊犁—哈萨克斯坦板块之间的碰撞造山作用形成的^[1-5]。随着塔里木板块与伊犁—哈萨克斯坦板块的碰撞拼合, 晚石炭世—早二叠世, 南天山一带形成了较大规模的花岗质侵入体。目前, 多数学者认为相对于中亚造山带内的其他块体, 塔里木板块是最后完成拼接的。所以, 该区花岗岩的研究对揭示南天山乃至整个中亚造山带的构造-岩浆热事件具有重要意义。近年来, 随着 1:5 万区域地质调查及相关科研工作地开展, 一些学者对南天山造山带晚石炭世—早二叠世花岗岩进行了研究^[6-14], 为进一步揭示南天山造山带的岩浆演化提供了重要信息。但有关花岗岩的地球化学特征、成因机制及构造属性仍缺乏全面了解, 对南天山洋闭合时限的认识也存在较大分歧, 多数学者认为南天山造山带的碰撞时间为晚古生代^[15-19], 但也有部分学者认为南天山造山带的碰撞时间为三叠

纪^[20-22]。前人对景汗花岗质岩体东段进行了岩相学及岩石地球化学研究, 认为该花岗岩为 I 型花岗岩, 形成于由挤压向伸展环境转变的碰撞-后碰撞造山期^[23], 但其年代学和岩体成因机制等研究相对薄弱。因此, 本文在新疆和硕克尔古提一带 1:5 万区域地质调查的基础上, 对景汗花岗质岩体开展了系统的野外地质调查、岩石学、岩石地球化学和锆石 U-Pb 年代学研究, 探讨其成因机制、构造环境及形成时代, 从而为全面认识南天山西段晚古生代的构造-岩浆作用提供了新的岩石学依据。

1 地质背景

研究区位于新疆和硕县北部克尔古提—乌什塔拉一带, 以中天山南缘断裂为界, 南部属于南天山造山带, 出露早泥盆世阿尔皮什麦布拉克组、中泥盆世阿拉塔格组和景汗花岗质岩体。泥盆系变

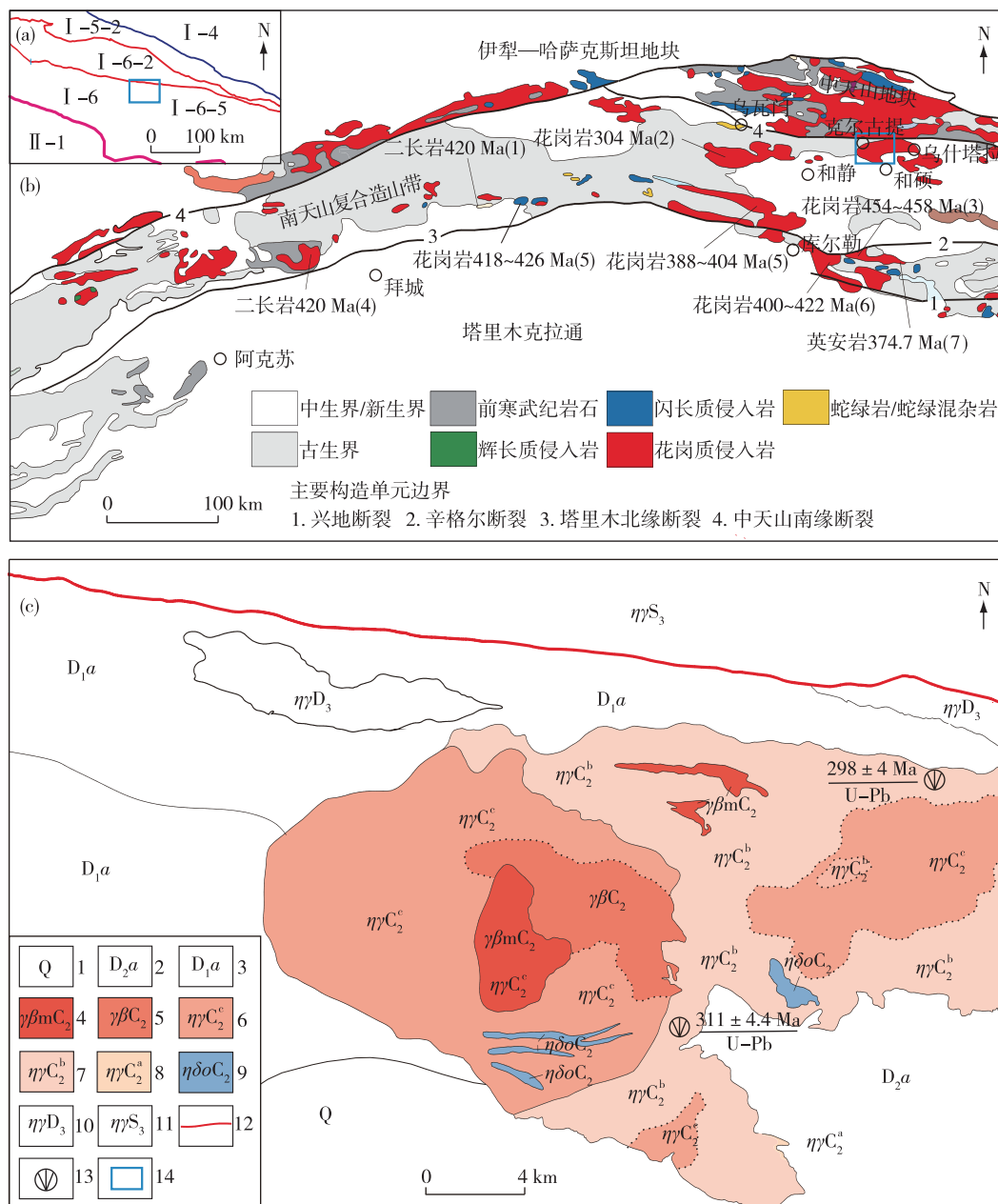
* 收稿日期: 2019-06-24 修订日期: 2019-11-01 责任编辑: 叶海敏

基金项目: 新疆地勘基金中心“新疆西天山克尔古提一带 1:5 万三幅区域地质调查(编号: T14-1-LQ07)”项目资助。

第一作者简介: 陈士海, 1986 年生, 男, 硕士研究生, 矿物学、矿床学、岩石学专业。

质变形强烈,褶皱发育,片理化明显,局部形成强片理化带。景汗花岗质岩体侵入泥盆系中,变质变形不发育。北部为中天山地块,出露晚志留世、晚泥

盆世中酸性侵入岩,中奥陶世中基性侵入岩零星产出,岩石均变质变形强烈,以片麻岩化为主,多呈 NW 向、SE 向,局部形成糜棱岩化带(图 1)。



(a): I-4.准噶尔地块—吐哈地块;I-5-2.博罗科努早古生代陆缘弧;I-6.南天山—红柳河结合带;I-6-2.那拉提—乌瓦门蛇绿混杂岩带;I-6-5.艾尔宾晚古生代残余盆地;II-1.塔里木板块。(b):数据(1)~(7)引自文献[24-29]。(c):1.第四系;2.中泥盆世阿拉塔塔格组;3.早泥盆世阿尔皮什麦布拉克组;4.中石炭世二云母二长花岗岩;5.中石炭世黑云母花岗岩;6.中石炭世多斑状黑云母二长花岗岩;7.中石炭世黑云母二长花岗岩;8.中石炭世黑云母二长花岗岩;9.中石炭世石英二长闪长岩;10.晚泥盆世二长花岗岩;11.晚志留世弱片麻岩化似斑状二长花岗岩;12.乌瓦门—包尔图缝合带;13.采样位置;14.研究区

图 1 研究区区域大地构造位置图(a)、南天山及邻区岩浆岩分布图(b)和景汗岩体地质略图(c)

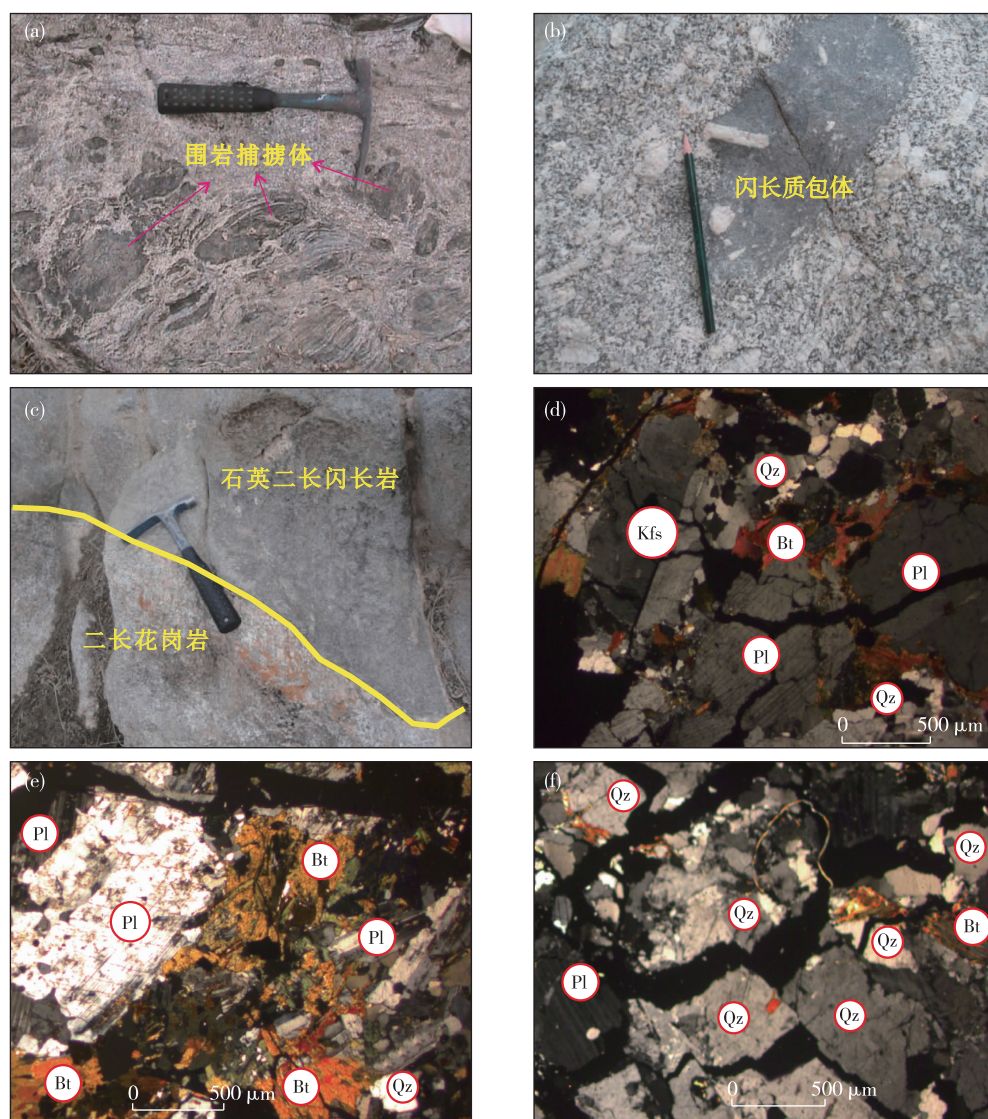
Fig. 1 Regional geotectonic map of the study area (a), distribution map of magmatic rocks in South Tianshan and adjacent areas (b) and simplified geological map of the Jinghan pluton (c)

2 岩体特征

2.1 野外地质特征

景汗岩体属于中酸性-酸性侵入岩,呈岩基产出,面积超过1 000 km²。岩体成SEE向展布,长轴方向与区域构造线基本一致。岩体侵入于中泥盆世阿拉塔格组与早泥盆世阿尔皮什麦布拉克组,侵入接触面较平直,内接触带有宽0.5~2.0 m的冷凝边,并发育较多的围岩捕虏体,捕虏体均平行于接触面走向分布(图2(a)),围岩主要为变质砂岩和碳

酸盐岩。变质砂岩角岩化明显,角岩带宽10~30 m;碳酸盐岩具强烈大理岩化,形成块状粗晶结构,局部见矽卡岩化。岩体内部闪长质包体较发育,呈椭圆形、透镜状及水滴状,大多数包体与寄主岩的界线明显,少数呈过渡关系,部分钾长石斑晶骑跨于包体与寄主岩之间(图2(b))。景汗岩体是典型的复式岩体,有较明显的成分与结构演化序列,岩性以二长花岗岩、石英二长闪长岩和二云母花岗岩为主,三者之间呈脉动接触关系(图2(c))。石英二长闪长岩与二云母花岗岩分别为岩体早期侵入体和补充期花岗岩,均呈岩滴状零星分布。



Kfs.钾长石;Pl.斜长石;Qz.石英;Bt.黑云母

图2 景汗岩体岩石露头照片(a,b,c)及岩相学显微照片(正交偏光)(d,e,f)

Fig. 2 Field photos (a,b,c) and representative microphotographs (d,e,f) of the Jinghan pluton

2.2 岩相学特征

(1)二长花岗岩。浅灰色,似斑状结构,块状构造,斑晶主要由钾长石和斜长石构成(图 2(d))。斜长石呈半自形板柱状,粒径 18~40 mm,含量约 25%;钾长石呈半自形宽板状,粒径 12~35 mm,含量约 10%。基质由斜长石、钾长石、石英、黑云母构成,具有中细粒花岗结构,含少量副矿物。

(2)石英二长闪长岩。新鲜岩石为灰色,风化面呈深灰色,中细粒似斑状结构(图 2(e)),块状构造,主要由斜长石、钾长石、石英、角闪石和黑云母组成。斜长石呈半自形板状,粒径一般为 1~2 mm,部分为 2~4 mm,含量约 53%;钾长石呈半自形板状,粒径 1~3 mm,含量约 19%。石英呈它形粒状,含量约 12%。暗色矿物以黑云母、角闪石为主,含量约 12%。副矿物主要有磁铁矿、磷灰石、锆石等。

(3)二云母花岗岩。灰白色,中细粒半自形粒状结构,块状构造,主要由斜长石、正长石、石英、黑云母、白云母组成。斜长石呈半自形板状,粒径一般为 1~3 mm,含量约 43%;钾长石呈半自形板状,粒径 1~3 mm,含量约 20%;石英呈它形粒状,填隙状分布,粒径 0.5~2 mm,含量约 25%;黑云母呈鳞片状,粒径 0.5~1 mm,含量约 4%。白云母呈鳞片状,粒径 0.5~1 mm,含量约 3%(图 2(f))。

3 分析方法

在研究区采集了 2 件二长花岗岩样品(编号分别为 D5028 和 08-43)用于锆石 U-Pb 定年分析,具体采样位置见图 1(c)。样品在河北省廊坊市诚信地质服务有限公司粉碎并挑选锆石,在双目镜下选取透明、无裂隙的锆石并制成环氧树脂靶,经抛光至锆石中心部位出露,运用扫描电子显微镜进行锆石阴极发光(CL)图像照相,依据 CL 图像挑选合适的部位进行锆石 U-Pb 年龄测定。

锆石 U-Pb 定年在中国地质大学(武汉)地质过程与矿产资源国家重点实验室采用 LA-ICP-MS 仪器完成。激光剥蚀系统为 GeoLas 2005, ICP-MS 为 Agilent 7500 a。激光剥蚀过程中载气为氦气,氩气作为补偿气以调节灵敏度,在进入 ICP 之前两种气体通过一个 T 型接头混合。少量 N_2 被加入到等离子体中心气流(Ar+He)中,用于提高仪器灵敏度,降低检出限,改善分析精密度^[30]。每个时间分

辨分析数据中包括了 50 s 左右的样品信号段和 20~30 s 左右的空白信号段。对分析数据的离线处理(样品和空白信号选择、仪器灵敏度漂移校正、元素含量及 U-Th-Pb 同位素比值和年龄计算)采用软件 ICPMS DataCal 完成^[31-33]。

全岩主量与微量元素分析测试在新疆地矿局第三地质大队实验室完成测试。主量元素采用硅酸盐银坩埚系统分析湿法完成测试,微量和稀土元素采用电感耦合等离子体质谱法测试完成,分析精度符合《DZ/T 0130—2006 地质矿产实验室测试质量管理规范》^[34]要求。

4 测试结果

4.1 锆石 U-Pb 年龄

研究区 2 件花岗岩样品的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年结果见表 1,相应的锆石 U-Pb 年龄谐和图如图 3 所示。二长花岗岩(编号:D5028)获得 11 个有效分析测试点数据,被测锆石呈长柱状或短柱状自形晶,长宽比为 1.5:1~2:1。样品锆石 CL 图像显示较清晰的振荡环带,且大多数锆石的 Th/U 值 >0.3 (表 1),指示其岩浆成因,被测锆石的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄大多分布在 295~318 Ma 之间,经计算获得的年龄加权平均值为 311.3 ± 4.4 Ma(图 3(a))。二长花岗岩(编号:08-43)获得 21 个有效分析测试点数据,被测锆石呈短柱状,CL 图像具明显核边结构,振荡环带发育。由于核部区域相对较小,本次测试分析点主要集中在边部。大部分锆石年龄较年轻,其 Th/U 值相对较高,均 >0.5 (表 1),指示锆石为岩浆成因。 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄集中在 280~306 Ma(图 3(b)),经计算获得加权平均年龄为 297.2 ± 4.2 Ma。

由锆石 U-Pb 定年分析结果可知,景汗花岗质岩体的形成时代为 $(311.3 \pm 4.4) \sim (297.2 \pm 4.2)$ Ma,这与其西侧同一构造背景的铁列克岩体(306 Ma)和盲起苏岩体(297~304 Ma)的侵位时间大体一致。

4.2 地球化学特征

对景汗岩体 14 件样品进行了主量、微量和稀土元素分析,分析结果及特征参数见表 2。

4.2.1 主量元素

景汗岩体是一套中酸性-酸性岩石, SiO_2 含量

表 1 景汗岩体二长花岗岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年数据
Table 1 LA-ICP-MS zircon U-Pb dating results of monzogranites from the Jinghan pluton

样品编号	Th/U	同位素比值						年龄/Ma			
		$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ
D5028-1	0.80	0.054 8	0.001 5	0.431 7	0.012 1	0.056 7	0.000 5	364	8.6	355	3.0
D5028-2	0.30	0.052 2	0.001 1	0.363 6	0.007 8	0.050 2	0.000 4	315	5.8	316	2.7
D5028-3	0.60	0.071 8	0.001 7	1.728 5	0.040 1	0.173 0	0.001 4	1 019	15.0	1 029	7.5
D5028-4	0.60	0.053 0	0.001 4	0.365 5	0.009 2	0.049 7	0.000 4	316	6.9	313	2.5
D5028-5	0.30	0.053 1	0.001 2	0.372 3	0.008 6	0.050 5	0.000 4	321	6.4	317	2.7
D5028-6	0.20	0.052 1	0.001 1	0.356 3	0.007 9	0.049 1	0.000 4	309	5.9	309	2.6
D5028-7	0.50	0.051 9	0.001 1	0.361 6	0.008 4	0.050 0	0.000 6	313	6.3	314	3.5
D5028-8	2.60	0.051 8	0.001 0	0.332 4	0.006 1	0.046 1	0.000 3	291	4.6	290	1.7
D5028-9	0.50	0.052 2	0.001 4	0.358 6	0.009 6	0.049 4	0.000 5	311	7.2	311	3.1
D5028-10	0.30	0.052 5	0.001 2	0.377 3	0.008 3	0.051 7	0.000 3	325	6.1	325	2.1
D5028-11	0.40	0.053 4	0.001 2	0.372 8	0.008 0	0.050 2	0.000 3	322	5.9	316	2.0
D5028-12	0.60	0.053 4	0.001 5	0.375 6	0.010 9	0.050 5	0.000 5	324	8.0	318	3.1
D5028-13	0.90	0.053 0	0.001 2	0.335 7	0.007 6	0.045 5	0.000 4	294	5.7	287	2.3
D5028-14	0.80	0.056 7	0.003 4	0.354 2	0.021 1	0.045 6	0.000 9	308	16.0	287	5.0
D5028-15	0.36	0.053 5	0.001 4	0.342 1	0.008 5	0.046 1	0.000 4	299	6.0	291	2.0
D5028-16	0.09	0.054 9	0.001 1	0.358 7	0.007 4	0.047 0	0.000 4	311	6.0	296	3.0
D5028-17	0.90	0.058 9	0.003 9	0.384 6	0.026 2	0.047 6	0.000 7	330	19.0	300	4.0
D5028-18	0.59	0.054 3	0.002 9	0.367 6	0.019 8	0.048 9	0.000 6	318	15.0	308	4.0
D5028-19	0.85	0.054 5	0.003 2	0.368 6	0.020 8	0.049 5	0.000 7	319	15.0	312	4.0
D5028-20	0.78	0.049 6	0.002 7	0.345 6	0.018 2	0.050 8	0.000 6	301	14.0	319	4.0
D5028-21	0.21	0.053 5	0.001 6	0.379 2	0.011 0	0.051 1	0.000 4	326	8.0	321	3.0
D5028-22	0.30	0.053 2	0.001 4	0.384 8	0.010 1	0.052 1	0.000 5	331	7.0	327	3.0
D5028-23	0.65	0.055 2	0.002 2	0.474 5	0.018 7	0.062 8	0.000 7	394	13.0	392	4.0
D5028-24	0.51	0.054 7	0.001 7	0.555 7	0.016 3	0.073 6	0.000 7	449	11.0	458	4.0
08-43-1	0.96	0.052 5	0.001 7	0.352 9	0.011 3	0.048 6	0.000 4	307	8.5	306	2.7
08-43-2	0.10	0.069 4	0.001 3	1.244 5	0.024 0	0.128 9	0.001 0	821	10.9	782	6.0
08-43-4	1.44	0.053 3	0.001 7	0.363 4	0.011 6	0.049 2	0.000 5	315	8.7	310	3.2
08-43-5	0.96	0.054 8	0.001 5	0.357 1	0.009 9	0.047 0	0.000 4	310	7.4	296	2.7
08-43-6	0.61	0.052 6	0.001 6	0.348 6	0.010 2	0.047 8	0.000 4	304	7.7	301	2.7
08-43-7	1.78	0.053 9	0.001 8	0.369 2	0.012 0	0.049 6	0.000 4	319	8.9	312	2.7
08-43-8	0.45	0.048 2	0.002 0	0.326 5	0.012 7	0.049 4	0.000 5	287	9.7	311	3.3
08-43-9	0.89	0.055 0	0.001 6	0.365 2	0.011 0	0.047 9	0.000 5	316	8.2	302	3.2
08-43-10	0.82	0.049 5	0.001 7	0.320 3	0.011 1	0.046 9	0.000 6	282	8.5	295	3.4
08-43-11	0.99	0.052 4	0.001 5	0.351 5	0.009 5	0.048 5	0.000 4	306	7.1	305	2.5
08-43-12	0.69	0.051 2	0.001 7	0.323 0	0.010 6	0.045 5	0.000 4	284	8.2	287	2.7
08-43-13	0.99	0.051 2	0.001 8	0.319 1	0.011 1	0.044 9	0.000 5	281	8.6	283	3.3
08-43-14	2.24	0.054 1	0.001 7	0.351 3	0.011 0	0.046 7	0.000 4	306	8.3	294	2.7
08-43-15	0.78	0.052 0	0.002 0	0.331 7	0.012 2	0.046 2	0.000 5	291	9.3	291	3.1
08-43-16	0.56	0.052 9	0.001 6	0.348 4	0.010 4	0.047 7	0.000 4	304	7.8	300	2.6
08-43-17	0.67	0.051 1	0.001 2	0.343 9	0.007 5	0.048 6	0.000 4	300	5.7	306	2.4
08-43-18	0.72	0.052 0	0.001 9	0.329 9	0.011 9	0.045 6	0.000 5	290	9.1	288	3.1
08-43-19	0.55	0.070 6	0.001 4	1.591 5	0.030 4	0.162 3	0.001 3	967	11.9	969	7.0
08-43-20	1.10	0.052 8	0.002 1	0.336 5	0.013 6	0.045 9	0.000 5	295	10.4	289	3.2
08-43-21	0.52	0.051 0	0.001 7	0.330 5	0.010 8	0.046 7	0.000 5	290	8.2	294	2.8

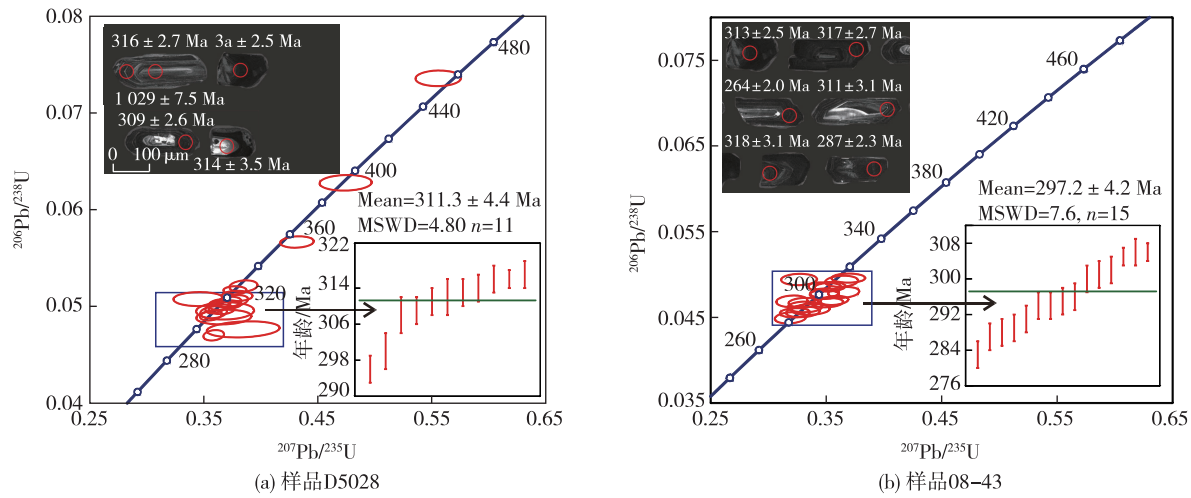


图 3 景汗岩体二长花岗岩锆石 U-Pb 年龄谐和图

Fig. 3 Zircon U-Pb concordia plots of monzonitic granites from the Jinghan pluton

表 2 景汗岩体主量、微量、稀土元素含量及特征参数

Table 2 Major, trace and rare earth elements contents and characteristic parameters of the Jinghan pluton

岩性	编号	主量元素含量/%													特征参数		
		SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	烧失量	总量	ALK	Na ₂ O/K ₂ O	TFeO
石英二长 闪长岩	11-13	65.26	0.66	14.35	1.02	3.78	0.07	1.78	2.78	4.07	3.94	0.35	0.81	99.00	8.01	1.03	4.70
	12-2	60.91	1.50	14.68	1.40	5.40	0.11	2.20	4.07	4.27	2.42	0.50	0.68	98.27	6.69	1.77	6.66
	5130	54.20	1.12	16.85	2.20	4.68	0.11	5.37	6.90	3.28	1.83	0.39	0.93	98.01	5.12	1.79	6.66
	09-5	58.74	1.46	16.63	1.75	5.80	0.10	2.69	3.81	3.62	2.83	0.55	1.11	99.17	6.45	1.28	7.38
	5345	60.96	1.22	15.69	2.98	3.40	0.13	3.45	5.19	2.73	3.06	0.43	0.59	99.85	5.79	0.89	6.07
	014-8	60.09	1.04	15.24	1.63	4.45	0.09	2.84	5.17	4.22	3.16	0.36	1.15	99.59	7.38	1.34	5.92
二长花 岗岩	5028	68.10	0.43	14.19	0.80	2.88	0.05	1.26	2.14	3.52	4.31	0.16	0.24	98.23	7.83	0.82	3.60
	11-5	69.69	0.42	14.15	0.73	2.79	0.05	0.93	2.03	3.99	3.90	0.25	0.39	99.45	7.89	1.02	3.45
	08-33	62.86	0.87	15.37	1.75	3.91	0.08	1.95	3.51	4.08	3.64	0.38	0.33	98.91	7.73	1.12	5.49
	11-8	66.16	0.62	14.24	1.00	3.46	0.06	1.56	2.92	3.90	3.88	0.30	0.40	98.62	7.78	1.01	4.36
	12-3	67.86	0.58	14.10	2.43	1.03	0.03	0.95	1.93	6.79	2.46	0.31	1.24	99.83	9.25	2.76	3.22
	5059	72.72	0.25	13.92	0.50	1.71	0.04	0.44	1.04	3.43	5.04	0.08	0.38	99.55	8.46	0.68	2.16
二云母 花岗岩	5040	74.22	0.10	12.42	0.50	1.17	0.03	0.03	0.99	3.92	4.51	0.02	0.31	98.36	8.43	0.87	1.62
	5572	71.98	0.20	14.34	0.60	1.89	0.02	0.43	1.30	3.36	5.31	0.13	0.27	99.85	8.68	0.63	2.43

岩性	编号	特征参数							微量元素含量/10 ⁻⁶								
		DI	A/CNK	SI	AR	σ	A/MF	C/MF	Rb	Sr	Ba	Th	U	Nb	Ta	Y	Zr
石英二长 闪长岩	11-13	76.24	0.89	12.22	2.76	2.84	1.28	0.45	68	668	599	11.28	3.02	11.57	1.47	21.95	190
	12-2	66.08	0.86	14.02	2.11	2.42	0.98	0.49	132	523	895	12.67	3.18	20.13	1.60	32.93	281
	5130	45.33	0.85	30.93	1.55	2.16	0.73	0.54	151	408	845	19.76	3.74	17.36	1.55	28.54	356
	09-5	61.66	1.04	16.11	1.92	2.56	0.96	0.40	116	409	851	20.74	5.14	14.35	1.07	23.85	254
	5345	58.69	0.91	22.18	1.71	1.85	0.90	0.54	194	262	406	28.21	2.33	13.78	0.87	22.14	272
	014-8	64.39	0.77	17.43	2.13	3.11	0.98	0.60	127	666	848	15.22	3.14	14.64	1.02	26.69	216
二长 花岗岩	5028	80.26	0.99	9.86	2.52	2.41	1.71	0.47	208	257	531	19.08	2.25	13.06	1.79	16.54	174
	11-5	82.43	0.98	7.50	2.90	2.32	1.95	0.51	234	225	638	25.92	4.85	14.78	2.19	13.79	151
	08-33	71.46	0.90	12.73	2.39	2.95	1.21	0.50	152	358	1 302	15.41	2.48	13.76	1.17	28.98	311
	11-8	76.75	0.89	11.28	2.66	2.57	1.41	0.52	202	400	1 030	30.89	2.98	11.43	0.93	12.58	199
	12-3	88.70	0.81	6.97	3.72	3.40	2.03	0.51	147	224	388	30.58	3.31	14.85	1.50	18.14	238
	5059	89.27	1.07	4.00	2.69	2.40	3.32	0.45	285	100	323	11.10	3.11	11.63	2.09	9.67	102
二云母 花岗岩	5040	93.48	0.95	0.32	3.82	2.26	5.22	0.75	226	51	36	17.80	9.01	16.47	3.22	18.83	88
	5572	88.02	1.05	3.73	2.51	2.59	3.16	0.52	188	112	407	12.91	2.33	6.15	0.65	5.14	77

续表 2

岩性	编号	微量元素含量/ 10^{-6}						特征参数					稀土元素含量/ 10^{-6}				
		Hf	P	Cr	Co	Ni	Ga	Rb/Sr	Th/U	Zr/Hf	Ba/Sr	Rb/Ba	La	Ce	Pr	Nd	Sm
石英二长 闪长岩	11-13	4.88	1 649	43.62	25.85	22.56	18.50	0.10	3.74	38.96	0.90	0.11	41.27	84	10.34	41.12	7.25
	12-2	7.12	2 591	47.37	16.68	20.97	21.06	0.25	3.98	39.45	1.71	0.15	53.69	109	13.32	52.80	9.78
	5130	9.16	1 815	22.45	16.80	15.13	21.81	0.37	5.28	38.86	2.07	0.18	49.06	114	13.77	53.47	9.35
	09-5	6.39	1 560	37.74	17.82	19.94	21.62	0.29	4.04	39.8	2.08	0.14	44.03	91	10.8	41.07	7.18
	5345	6.82	1 526	114.00	15.62	43.01	22.58	0.74	12.11	39.89	1.55	0.48	59.30	106	12.44	46.21	7.93
	014-8	5.09	2 301	69.09	28.02	44.74	21.54	0.19	4.85	42.34	1.27	0.15	53.47	112	13.29	49.84	8.42
二长 花岗岩	5028	4.99	669	25.12	6.84	11.17	19.81	0.81	8.48	34.91	2.07	0.39	36.23	70	7.99	28.73	5.13
	11-5	4.08	1 069	55.29	6.61	18.07	22.10	1.04	5.34	37.05	2.83	0.37	46.87	79	8.96	31.86	5.38
	08-33	7.39	1 652	101.00	12.6	40.95	22.92	0.43	6.21	42.12	3.63	0.12	64.3	125	14.25	52.63	8.96
	11-8	5.12	1 323	55.26	10.00	18.21	23.62	0.50	10.37	38.82	2.57	0.20	40.74	79	9.28	34.07	5.55
	12-3	6.26	1 363	41.66	5.80	11.71	23.03	0.66	9.24	38.07	1.73	0.38	52.14	87	10.50	38.24	6.63
	5059	3.58	372	21.78	2.59	3.46	17.30	2.84	3.57	28.57	3.22	0.88	22.97	46	5.44	20.48	4.24
二云母 花岗岩	5040	3.62	74	6.73	1.09	3.00	16.66	4.40	1.98	24.26	0.71	6.23	6.91	14	1.98	7.67	1.96
	5572	2.59	580	20.53	2.52	4.41	16.17	1.68	5.54	29.59	3.64	0.46	25.58	45	5.20	18.88	3.46
岩性	编号	稀土元素含量/ 10^{-6}										特征参数					
		Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Y	ΣREE	LREE/HREE	(La/Yb) _N	δEu	δCe	
石英二长 闪长岩	11-13	2.08	6.13	0.88	4.59	0.86	2.46	0.34	2.14	0.33	21.95	204	10.50	13.81	0.93	0.97	
	12-2	2.41	8.19	1.22	6.37	1.14	3.07	0.42	2.46	0.36	32.93	265	10.37	15.69	0.80	0.97	
	5130	1.86	7.80	1.11	5.72	1.08	3.03	0.44	2.71	0.41	28.54	263	10.81	12.98	0.65	1.05	
	09-5	1.77	6.03	0.87	4.49	0.83	2.39	0.32	2.06	0.31	23.85	213	11.32	15.33	0.80	0.99	
	5345	1.31	6.51	0.90	4.37	0.78	2.19	0.28	1.66	0.24	22.14	250	13.79	25.61	0.54	0.91	
	014-8	2.16	7.01	0.98	5.09	0.94	2.66	0.37	2.38	0.35	26.69	259	12.09	16.11	0.84	1.00	
二长 花岗岩	5028	1.19	4.26	0.63	3.34	0.61	1.82	0.27	1.76	0.27	16.54	162	11.51	14.79	0.76	0.96	
	11-5	1.20	4.39	0.57	2.71	0.47	1.35	0.18	1.17	0.18	13.79	184	15.71	28.77	0.73	0.88	
	08-33	2.10	7.62	1.08	5.49	1.02	2.85	0.38	2.38	0.36	28.98	288	12.60	19.35	0.76	0.97	
	11-8	1.45	4.52	0.56	2.45	0.44	1.25	0.16	1.00	0.15	12.58	180	16.14	29.16	0.86	0.95	
	12-3	1.13	5.38	0.74	3.53	0.62	1.75	0.23	1.49	0.23	18.14	209	13.99	25.04	0.56	0.86	
	5059	0.85	3.72	0.66	3.96	0.78	2.39	0.38	2.51	0.38	9.67	115	6.74	6.56	0.64	0.97	
二云母 花岗岩	5040	0.38	1.90	0.39	2.63	0.59	2.04	0.37	2.72	0.47	18.83	44	2.98	1.83	0.59	0.92	
	5572	0.86	2.58	0.30	1.17	0.17	0.47	0.06	0.41	0.07	5.14	104	18.83	44.75	0.84	0.90	

为 54.20%~74.22%，富 FeO、P₂O₅，贫 Na₂O、Al₂O₃、CaO，CIPW 标准矿物中不含刚玉，铝饱和指数(A/CNK)为 0.77~1.07，属准铝-弱过铝质侵入岩。石英二长闪长岩(DI=45.33~76.24, SI=12.22~30.93)、二长花岗岩(DI=71.46~89.27, SI=4.00~12.73)、二云母花岗岩(DI=88.02~93.48, SI=0.32~3.73)分异指数(DI)和固结指数(SI)显示岩石结晶分异程度越来越高。

景汗岩体全碱(ALK)含量为 5.12%~9.25%，莱特碱度率 AR 为 1.55~3.82，里特曼指数 σ 为 1.85~3.40，属钙碱性系列岩石。由 AR-SiO₂ 关系图解(图 4(a))可知，样品投影点均落在钙碱性-碱性范围内。由 SiO₂-K₂O 关系图解(图 4(b))可以进一步判断景汗岩体属于高钾钙碱性系列。由景汗花岗岩体主量元素 Harker 图解(图 5)可知，随着 SiO₂ 含量升高，SiO₂ 与 Al₂O₃、MgO、

CaO、TiO₂、FeO、P₂O₅ 呈明显的负相关, SiO₂ 与 K₂O

呈明显的正相关, SiO₂ 与 Na₂O 相关性不明显。

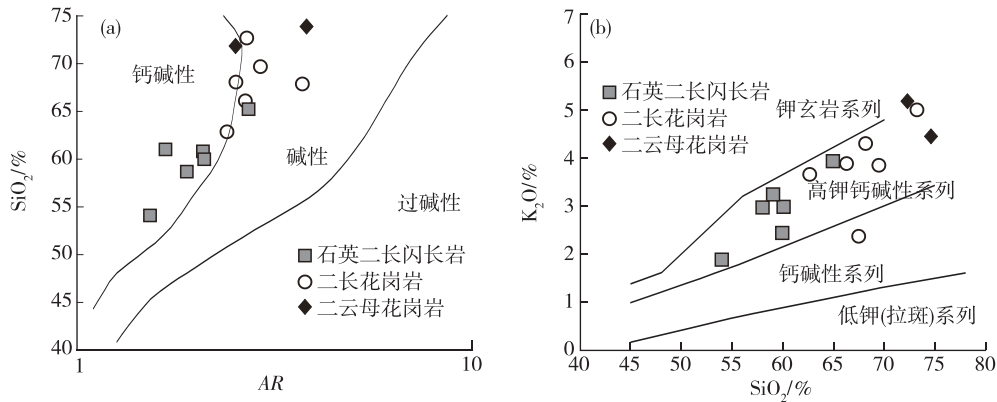


图 4 景汗岩体 AR-SiO₂ (a) 和 SiO₂-K₂O (b) 关系图解^[35]

Fig. 4 AR-SiO₂ (a) and SiO₂-K₂O (b) diagrams of the Jinghan pluton^[35]

4.2.2 稀土及微量元素

景汗岩体球粒陨石标准化稀土元素配分曲线如图 6(a) 所示。石英二长闪长岩稀土元素总量偏高, ΣREE 为 $(204 \sim 265) \times 10^{-6}$, 轻稀土元素富集, LREE/HREE 为 $10.37 \sim 13.79$, $(\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}}$ 为 $12.98 \sim 25.61$, 稀土元素配分曲线右倾, Eu 有弱的负异常 ($\delta\text{Eu} = 0.54 \sim 0.93$)。二长花岗岩稀土元素总量偏高, ΣREE 为 $(115 \sim 288) \times 10^{-6}$, 轻稀土元素富集, LREE/HREE 为 $6.74 \sim 16.14$, $(\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}}$ 为 $6.56 \sim 29.16$, 稀土元素配分曲线右倾, Eu 有弱的负异常 ($\delta\text{Eu} = 0.56 \sim 0.86$)。二云母花岗岩稀土元素总量偏低, ΣREE 为 $(44 \sim 104) \times 10^{-6}$, 轻稀土元素富集, 重稀土元素变化较大, $(\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}}$ 为 $1.83 \sim 44.75$, 稀土元素配分曲线呈右倾或呈“海鸥式”, Eu 有较弱的负异常 ($\delta\text{Eu} = 0.59 \sim 0.84$)。景汗花岗质岩体铈负异常较弱, δEu 为 $0.54 \sim 0.93$, 表明岩浆源区有少量的斜长石残留或岩浆演化过程中斜长石发生过较弱的分离结晶作用。

景汗岩体原始地幔标准化微量元素蛛网图如图 6(b) 所示。与同类岩石微量元素丰度^[36-37]相比, 景汗岩体大多数微量元素接近中国晚石炭世中酸性-酸性岩元素丰度, 富集大离子亲石元素 Rb、Th、U, 贫高场强元素 Ta、Nb、Ti, 石英二长闪长岩 ($\text{Rb}/\text{Sr} = 0.10 \sim 0.74$, $\text{Rb}/\text{Ba} = 0.11 \sim 0.48$)、二长花岗岩 ($\text{Rb}/\text{Sr} = 0.43 \sim 2.84$, $\text{Rb}/\text{Ba} = 0.12 \sim 0.88$)、二云母花岗岩 ($\text{Rb}/\text{Sr} = 1.68 \sim 4.40$, $\text{Rb}/\text{Ba} = 0.46 \sim 6.23$) 的 Rb/Sr 、 Rb/Ba 值明显增高, 暗示岩浆分异演化程度越来越高。

5 讨论

5.1 成因

前人对景汗岩体东段进行了相关研究, 认为其岩相和岩性单一, 为 I 型花岗岩, 形成于由挤压向伸展环境转变的碰撞-后碰撞造山期^[23]。本次对景汗岩体西段进行调查, 发现其岩相及岩性较复杂, 但成因及构造环境与岩体东段大致相同。景汗岩体中石英二长闪长岩、二长花岗岩和二云母花岗岩密切共生, 在 Harker 图解(图 5)中, SiO₂ 与主要氧化物之间多具有良好的相关性, 指示它们具有成因联系, 可能为同源岩浆演化系列产物。

景汗岩体的铝饱和指数为 $0.77 \sim 1.07$, 属准铝质-弱过铝质花岗岩类。CIPW 标准矿物计算结果表明, 大部分样品含透辉石标准分子, Na₂O 含量为 $2.73\% \sim 6.79\%$ 。原始地幔标准化微量元素蛛网图(图 6(b))中 Nb、Ta 亏损明显; 球粒陨石标准化稀土元素配分曲线图(图 6(a))中, 曲线均向右倾, 轻稀土元素较富集, 与 I 型花岗岩相似, 不同于 S 型花岗岩“海鸥型”稀土元素配分型式和强过铝质特征, 与 M 型花岗岩的岩石学、地球化学特征及 A 型花岗岩高 SiO₂ 含量、显著负铈异常特征也不同, 岩相学观察显示副矿物为榍石, 未见堇青石、红柱石等过铝质矿物, 这也与 I 型花岗岩相似。在 Harker 图解(图 5)中, P₂O₅ 与 SiO₂ 呈明显负相关, 进一步佐证其为 I 型花岗岩。综上所述, 景汗岩体应为准铝-弱过铝质高钾钙碱性 I 型花岗岩。

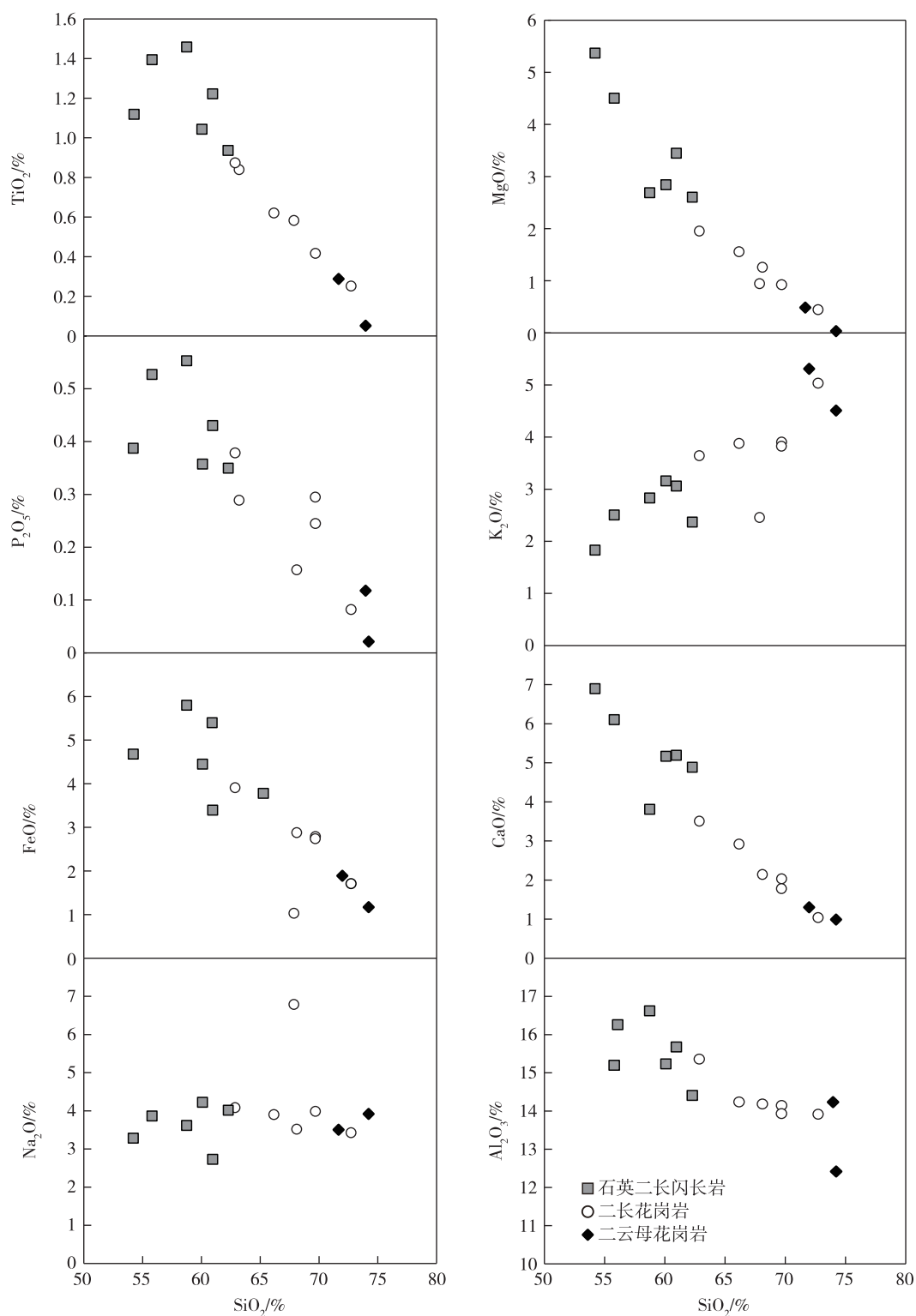


图5 景汗岩体 Harker 图解

Fig. 5 Harker plots of the Jinghan pluton

在研究区乃至整个南天山造山带内,花岗岩类岩石的体积远大于辉长质岩石,因此,景汗岩体不

可能是以辉长岩为代表的基性岩浆分离结晶的产物。根据 La 与 Sm 在固-液相的分配系数可以对成

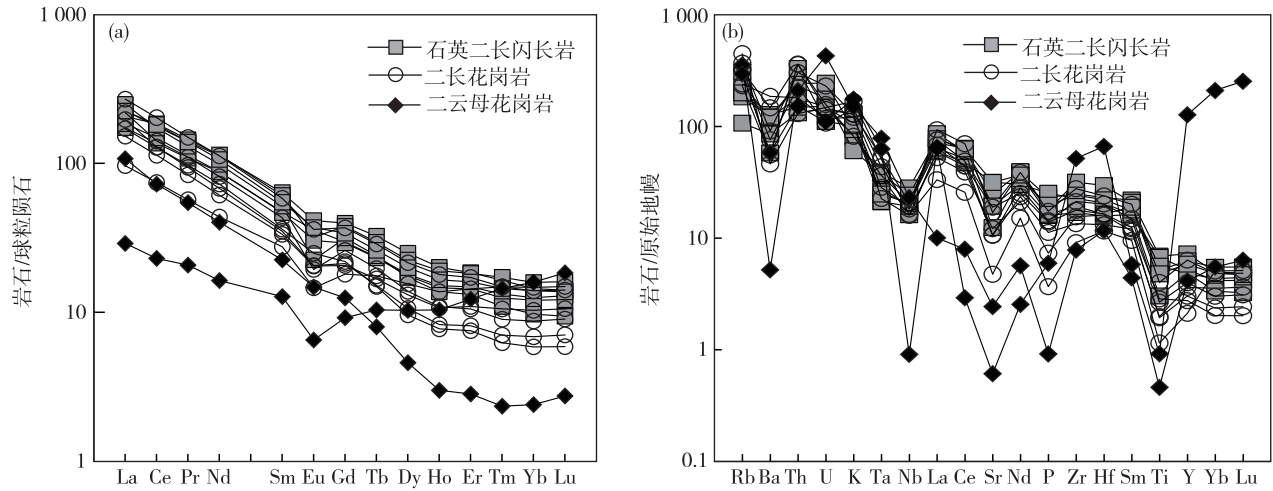
图 6 景汗岩体球粒陨石标准化稀土元素配分曲线图(a)和原始地幔标准化微量元素蛛网图(b)^[38]

Fig. 6 Chondrite-normalized REE distribution patterns (a) and primitive-mantle normalized spidergrams (b) of the Jinghan pluton^[38]

岩过程进行鉴别,若岩石分布趋势线呈斜线则为部分熔融成因;若岩石分布趋势线呈水平线则为分离结晶成因,景汗岩体在 La-La/Sm 关系图中均呈斜线分布(图 7(a)),表明它们应为地壳部分熔融成因。此外,石英二长闪长岩 SiO₂ 含量偏低,表明可能有幔源物质参与。因此,景汗岩体可能为地壳受到幔源岩浆影响而重熔,并与幔源岩浆发生混合。野外可见岩体中普遍出现闪长质包体,多呈椭圆形、透镜状或水滴状的塑变形态,大多数包体与寄主岩界线清晰,少数呈过渡关系,部分钾长石斑晶骑跨于包体与寄主岩之间。岩相学特征显示,闪长质包体具有典型的火成岩结构,表明镁铁质包体岩

浆与寄主长英质岩浆发生了混合作用,MgO-TFeO 关系图解(图 7(b))也显示岩浆混合趋势。岩石具有较弱的负钨异常,表明源区残留物中有少量斜长石。除 1 个样品 Y/Yb 值为 3.85 外,其余样品 Y/Yb 值均约为 10,说明岩浆源区残留物主要为角闪石,景汗岩体的源区残留相主要是角闪石+斜长石。

综上所述,景汗岩体为地壳部分熔融成因,与幔源基性岩浆发生过混合作用,源区残留相主要是角闪石+斜长石。

5.2 构造环境及地质意义

碰撞-后碰撞花岗岩类属于中-高钾钙碱性系列和钾玄岩系列,加厚地壳在不断减压过程中发生

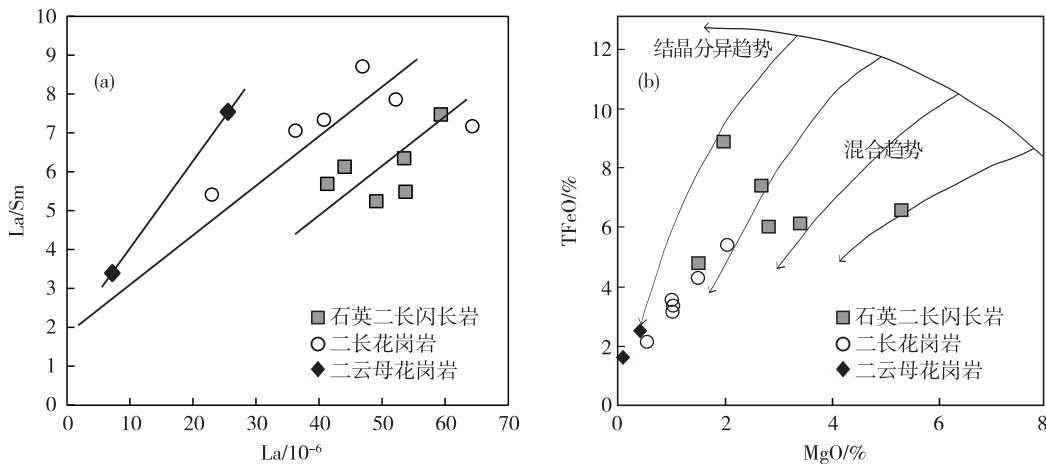
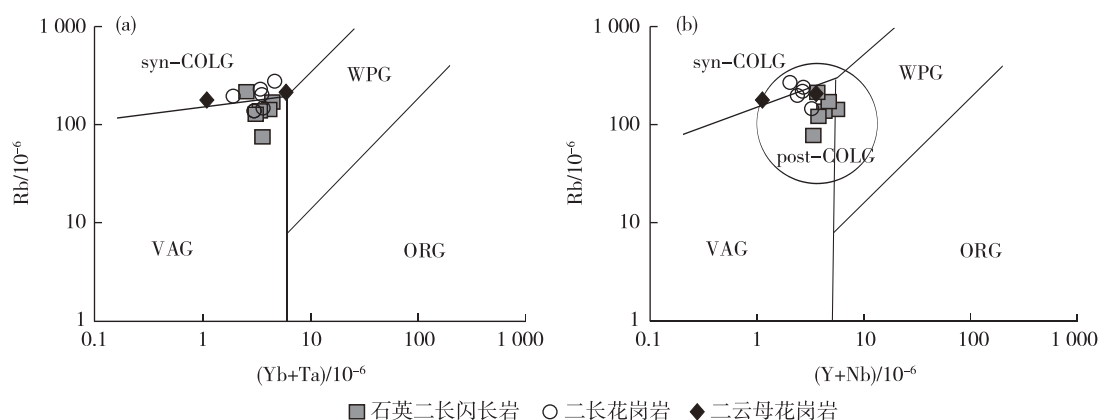
图 7 景汗岩体 La-La/Sm(a)和 MgO-TFeO(b)关系图解^[39]

Fig. 7 La-La/Sm(a)and MgO-TFeO(b) plots of the Jinghan pluton^[39]

部分熔融形成高钾钙碱性岩浆,岩石类型包括石英二长岩、花岗闪长岩和二长花岗岩,属钙碱性岩系,暗色矿物为黑云母和普通角闪石,铝饱和指数不高^[40-43]。景汗岩体岩石类型为石英二长闪长岩、二长花岗岩,属于准铝质-弱过铝质高钾钙碱性花岗岩,矿物组合与碰撞-后碰撞花岗岩矿物组合一致。

在构造环境判别图解(图8)中,景汗岩体样品点投影于岛弧花岗岩与后碰撞花岗岩区,但在原始地幔标准化微量元素蛛网图(图6(b))上,Ba并不

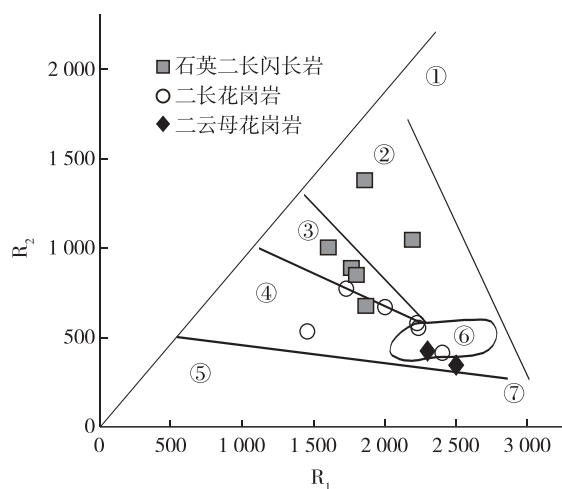
富集,且Ba/Th值 <53 ,说明俯冲带流体对岩浆源区贡献不明显,景汗岩体为后碰撞花岗岩可能性更大。岩体具有较弱的Eu负异常, δEu 值为0.54~0.93,平均值为0.75。研究表明^[45],无负Eu异常的中酸性火成岩标志着加厚陆壳的存在,或代表具有山根的造山带环境,其形成于加厚陆壳的底部或造山带山根的底部。在 R_1 - R_2 构造环境判别图解(图9)中,景汗岩体样品点均落入碰撞-后碰撞区,进一步证明景汗岩体形成于碰撞-后碰撞构造环境。



syn-COLG,同碰撞花岗岩;WPG,板内花岗岩;VAG,火山岛弧花岗岩;ORG,洋脊花岗岩;post-COLG,后碰撞花岗岩

图8 景汗岩体 Rb-(Yb+Ta)(a)和 Rb-(Y+Nb)(b)构造环境判别图解^[44]

Fig. 8 Rb-(Yb+Ta) (a) and Rb-(Y+Nb)(b) plots of the Jinghan pluton^[44]



①.地幔分离;②.碰撞前;③.碰撞后隆升;④.晚造山;
⑤.非造山;⑥.同碰撞;⑦.后造山

图9 景汗岩体 R_1 - R_2 图解^[46]

Fig. 9 R_1 - R_2 binary diagram of the Jinghan pluton^[46]

朱志新等^[47]认为南天山造山带在晚石炭世—

早二叠世,塔里木板块与伊犁—哈萨克斯坦板块发生对接、碰撞。伴随地壳缩短、加厚,陆壳重熔形成了同碰撞花岗岩,如铁列克岩体和盲起苏岩体^[11,25]。景汗岩体与铁列克岩体和盲起苏岩体具有相似的地球化学特征,表明它们均形成于陆-陆碰撞构造环境。根据研究区构造变形特征,景汗岩体围岩阿拉塔格组与阿尔皮什麦布拉克组发育大量NW向强片理化带、韧性剪切带、紧闭同斜褶皱、剑鞘褶皱、剪切褶皱等,表明围岩参与了强烈的碰撞造山作用。景汗岩体沿碰撞带呈带状分布,未出现明显的构造变形,表明其侵位晚于主碰撞期,形成于碰撞晚期-后碰撞阶段。因此,推断南天山晚古生代残余洋盆在晚石炭世闭合。

6 结论

(1)景汗岩体 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为 $(311.3 \pm 4.4) \text{ Ma} \sim (297.2 \pm 4.2) \text{ Ma}$,形成于晚石炭世。

(2)景汗岩体具有高钾钙碱性系列I型花岗岩特征,岩浆源自地壳部分熔融,并与幔源基性岩浆发生混合作用,源区残留相主要是角闪石+斜长石。

(3)景汗岩体形成于塔里木板块与伊犁—哈萨克斯坦板块碰撞造山作用晚期,属碰撞晚期-后碰撞构造环境岩浆活动的产物,推断南天山晚古生代残余海盆闭合时间为晚石炭世。

致谢: 本文属于“新疆和硕县克尔古提一带1:5万区域地质调查”项目组集体成果。成文过程中得到了江西省地质调查研究院张芳荣教授级高级工程师、南京大学邱检生教授及孙俊俊博士的悉心指导,在此表示感谢!

参考文献

- [1] 肖序常,汤耀庆,李锦轶,等. 古中亚复合巨型缝合带南缘构造演化[M].北京:科学技术出版社,1991.
- [2] 肖序常,汤耀庆,冯益民,等. 新疆北部及邻区大地构造[M].北京:地质出版社,1992.
- [3] 何国琦,李茂松,韩宝福. 中国西南天山及邻区大地构造研究[J].新疆地质,2001,19(1):7-11.
- [4] 张芳荣,王会敏,滑鑫,等. 新疆东准格尔纸房东地区奥尔吐组的厘定及火山岩形成时代[J].华东地质,2017,38(3):161-167.
- [5] 倪康,武彬,叶现韬. 新疆阿尔金北缘拉配泉组流纹岩的锆石 U-Pb 年龄及其地质意义[J].华东地质,2017,38(3):168-174.
- [6] 朱志新. 新疆南天山地质组成和构造演化[D].北京:中国地质科学院,2007.
- [7] 高俊,肖序常,汤耀庆,等. 新疆西南天山蓝片岩的变质作用 pT-Dt 轨迹及构造演化[J].地质论评,1994,40(6):544-553.
- [8] 王超,刘良,罗金海,等. 西南天山晚古生代后碰撞岩浆作用:以阔克萨彦岭地区巴雷公花岗岩为例[J].岩石学报,2007,23(8):1830-1840.
- [9] 张成立,周鼎武,王居里,等. 南天山库米什南黄尖石山岩体的年代学、地球化学和 Sr、Nd 同位素组成及其成因意义[J].岩石学报,2007,23(8):1821-1829.
- [10] 新疆维吾尔自治区地质矿产局.新疆维吾尔自治区区域地质志[M].北京:地质出版社,1993.
- [11] 朱志新,李锦轶,董连慧,等. 新疆南天山盲起苏晚石炭世侵入岩的确定及对南天山洋盆闭合时限的限定[J].岩石学报,2008,24(12):2761-2766.
- [12] 马乐天,张招崇,董书云,等. 南天山英买来花岗岩的地质、地球化学特征及其地质意义[J].地球科学,2010,35(6):908-920.
- [13] 黄河,张招崇,张东阳,等. 中国南天山晚石炭世一早二叠世花岗质侵入岩的岩石成因与地壳增生[J].地质学报,2011,85(8):1305-1333.
- [14] 陈超,吕新彪,曹晓峰,等. 新疆库米什地区晚石炭世一早二叠世花岗岩年代学、地球化学及其地质意义[J].地球科学,2013,38(2):218-232.
- [15] 姜常义,穆艳梅,白开寅,等. 南天山花岗岩类的年代学、岩石学、地球化学及其构造环境[J].岩石学报,1999,15(2):298-308.
- [16] 朱志新,董连慧,王克卓,等. 西天山造山带构造单元划分与构造演化[J].地质通报,2013,32(2/3):297-306.
- [17] 夏林圻,张国伟,夏祖春,等. 天山古生代洋盆开启,闭合时限的岩石约束——来自震旦纪,石炭纪火山岩的证据[J].地质通报,2002,21(2):55-62.
- [18] 李锦轶,何国琦,徐新,等. 新疆北部及邻区地壳构造格架及其形成过程的初步探讨[J].地质学报,2006,80(1):940-960.
- [19] 高俊,龙灵利,钱青,等. 南天山:晚古生代还是三叠纪碰撞造山带? [J].岩石学报,2006,22(5):1049-1061.
- [20] 李曰俊,宋文杰,买光荣,等. 库车和北塔里木前陆盆地与南天山造山带的耦合关系[J].新疆石油地质,2001,22(5):376-381.
- [21] 张立飞,艾永亮,李强,等. 新疆西南天山超高压变质带的形成与演化[J].岩石学报,2005,21(4):1029-1038.
- [22] 肖文交,韩春明,袁超,等. 新疆北部石炭纪一二叠纪早期独特的构造-成矿作用:对古亚洲洋构造域南部大地构造演化的制约[J].岩石学报,2006,22(5):1062-1076.
- [23] 张天宇,樊双虎,陈淑娥,等. 新疆和硕县乌什塔拉红山花岗岩岩浆起源及成因机制[J].西北地质,2013,46(2):18-29.
- [24] HUANG Z Y, LONG X P, KRONER A, et al. Geochemistry, zircon U-Pb ages and Lu-Hf isotopes of early aleozoic plutons in the northwestern Chinese Tianshan: Petrogenesis and geological implications[J]. Lithos, 2013, 182/183: 48-66.
- [25] 郭瑞清,秦切,木合塔尔·扎日,等. 新疆库鲁克塔格西段奥陶纪花岗岩体地质特征及构造意义[J].地学前缘,2013,20(4):251-263.
- [26] HUANG H, ZHANG Z C, SANTOSH M, et al. Early Paleozoic Tectonic Evolution of the South Tianshan Collisional Belt: Evidence from Geochemistry and Zircon U-Pb Geochronology of the Tierke Monzonite Pluton, Northwest China[J]. The Journal of Geology, 2013, 121(4): 401-424.

- [27] WANG T, JAHN B M, KOVACH V P, et al. Nd-Sr isotopic mapping of the Chinese Altai and implications for continental growth in the Central Asian Orogenic Belt[J]. *Lithos*, 2009, 110(1):359-372.
- [28] LIN W, CHU Y, JI W B, et al. Geochronological and geochemical constraints for a middle Paleozoic continental arc on the northern margin of the Tarim block: Implications for the Paleozoic tectonic evolution of the South Chinese Tianshan[J]. *Lithosphere*, 2013, 5(4): 355-381.
- [29] 张艳, 孙晓猛. 新疆库鲁克塔格地区晚泥盆世火山岩 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年代学及其地质意义[J]. *岩石学报*, 2010, 26(1):302-308.
- [30] HU Z C, GAO S, LIU Y S, et al. Signal enhancement in laser ablation ICP-MS by addition of nitrogen in the central channel gas [J]. *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*, 2008, 23(8): 1093-1101.
- [31] LIU Y S, HU Z C, GAO S, et al. In situ analysis of major and trace elements of anhydrous minerals by LA-ICP-MS without applying an internal standard [J]. *Chemical Geology*, 2008, 257(1/2): 34-43.
- [32] LIU Y S, GAO S, HU Z C, et al. Continental and oceanic crust recycling-induced melt-peridotite interactions in the Trans-North China Orogen: U-Pb dating, Hf isotopes and trace elements in zircons from mantle xenoliths [J]. *Journal of Petrology*, 2010, 51(1/2): 537-571.
- [33] LIU Y S, HU Z C, ZONG K Q, et al. Reappraisal and refinement of zircon U-Pb isotope and trace element analyses by LA-ICP-MS [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2010, 55(15):1535-1546.
- [34] 全国国土资源标准化技术委员会地质矿产实验测试分析技术委员会. DZ/T 0130—2006 地质矿产实验室测试质量管理规范[S]. 2006.
- [35] PECCERILLO A, TAYLOR S R. Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, Northern Turkey [J]. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 1976, 58(1):63-81.
- [36] 迟清华, 鄢明才. 应用地球化学元素丰度数据手册[M]. 北京: 科学出版社, 2007.
- [37] SHI C G, YAN M C, CHI Q H. Abundances of chemical elements of the granitoids in different geotectonic units of China and their characteristics[J]. *Acta Geological Sinica*, 2007, 1(3):309-321.
- [38] MCDONOUGH W F, SUN S S. The composition of the Earth[J]. *Chemical Geology*, 1995, 120(3/4): 223-253.
- [39] WHALEN J B, CURRIE K L, CHAPPELL B W. A-type granites: Geochemical characteristics, discrimination and petrogenesis[J]. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 1987, 95(4):407-419.
- [40] 肖庆辉. 花岗岩研究思维与方法: 中国地质调查局《中国花岗岩重大基础研究》项目成果[M]. 北京: 地质出版社, 2002.
- [41] 莫宣学, 邓晋福, 董方浏, 等. 西南三江造山带火山岩-构造组合及其意义[J]. *高校地质学报*, 2001, 7(2): 121-138.
- [42] 王德滋, 舒良树. 花岗岩构造岩浆组合[J]. *高校地质学报*, 2007, 13(3):362-370.
- [43] 张旗, 王元龙, 金惟俊, 等. 造山前、造山和造山后花岗岩的识别[J]. *地质通报*, 2008, 27(1):1-18.
- [44] PEARCE J A, HARRIS N B, TINDLE A G. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks[J]. *Journal of Petrology*, 1984, 25(4): 956-983.
- [45] 邓晋福, 赵海玲, 赖绍聪, 等. 白云母/二云母花岗岩形成与陆内俯冲作用[J]. *地球科学: 中国地质大学学报*, 1994, 19(2):139-147.
- [46] BATCHELOR R A, BOWDEN P. Petrogenetic interpretation of granitoid rock series using multicationic parameters[J]. *Chemical Geology*, 1985(48):43-55.
- [47] 朱志新, 董连慧, 王克卓, 等. 西天山造山带构造单元划分与构造演化[J]. *地质通报*, 2013, 32(2/3): 297-306.

Geochronology and geochemistry of the Jinghan granitic pluton in South Tianshan, Xinjiang and their tectonic significance

CHEN Shi-hai^{1,2}, ZHONG Wen², ZHANG Jian-ren²

(1.School of Earth Sciences and Engineering, Nanjing University, Nanjing 210093, China;

2.Jiangxi Institute of Geological Survey, Nanchang 330030, China)

Abstract: The Jinghan granitic pluton, located in the north of Heshuo County, Xinjiang Autonomous Region, bears important information for studying the tectonic evolution of the South Tianshan orogenic belt. This pluton consists mainly of monzonitic granite and less amounts of quartz monzodiorite and two-mica granite. LA-ICP-MS zircon U-Pb dating yields ages of (316.1 ± 3.9) Ma \sim (298 ± 4) Ma, indicating that the pluton was emplaced in Late Carboniferous. Geochemically, this pluton shows wide variation of chemical compositions, with SiO_2 contents ranging from 54.20% to 74.22%, and total alkali values (ALK) from 5.12% to 9.25%, and show characteristics for rocks of high-K calc-alkaline series. Granitic rocks from this pluton have A/CNK values of $0.77 \sim 1.07$, thus can be grouped into metaluminous-weakly peraluminous granitoids. Total REE contents of 29.65×10^{-6} to 298.50×10^{-6} and $(\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}}$ ratios of 1.83 to 29.16 show an obvious enrichment of light rare earth elements. Weakly negative Eu anomalies with δEu values of 0.54 to 1.04 display characteristic of weak depletion. Geochemical characteristics suggest that the granitic magmas likely originated from partial melting of crust materials, and also underwent magma mixing with mantle-derived mafic magmas during the formation process. Combined with the regional tectonic settings and the discrimination results of trace elements, it is concluded that the Jinghan pluton was generated during the late stage of the collision between the Tarim Plate and the Yili-Kazakhstan Plate under a collisional to post-collisional tectonic setting. These results also imply that the late Paleozoic residual oceanic basin in the South Tianshan Belt was finally closed in late Carboniferous.

Key words: tectonic setting; high-K calc-alkaline series; zircon U-Pb dating; South Tianshan belt, Xinjiang