第43卷 第3期 吉林大学学报(地球科学版) Vol. 43 No. 3
2013年05月 Journal of Jilin University(Earth Science Edition) May 2013

东天山阿拉塔格花岗岩体地球化学特征及其构造意义

余吉远,孟 勇,李建星,郭 琳,王 健
中国地质调查局西安地质调查中心,西安 710054

摘要:位于中天山地块南缘大黑山地区的阿拉塔格花岗岩体,岩性主要由花岗闪长岩、二长花岗岩、似斑状花岗岩组成,岩石具有高硅($w(SiO_2)$为66.29%～77.47%)、富碱($w(Na_2O+K_2O)$为6.75%～9.93%)、高铝($w(Al_2O_3)$为10.97%～14.40%)、低Sr($w(Sr)$为(28.78～153.00)×10^{-6},平均为99.23×10^{-6})、低Ti($w(TiO_2)$为0.09%～0.77%)的特征。岩石的A/CNK值为1.19～1.50,为钙碱性过铝质岩石;岩石Eu亏损($\delta Eu=0.19～0.51$)、LREE富集(LREE/HREE=6.80～8.45,$(La/Yb)_N=6.06～9.03$),明显富集Rb、Th、K、Hf(Zr)等大离子亲石元素(LILE),亏损Nb、Ta、P、Ti等高场强元素(HFSE);岩石的Ba含量较低,并具有明显的Sr负异常。结合区域地质特征,通过岩石的地球化学和Sr、Nd同位素综合分析,认为该花岗岩形成于后碰撞环境,且为壳幔混源的岩浆多期次侵位的复合岩体。

关键词:东天山;阿拉塔格;地球化学;构造意义;花岗岩
中图分类号:P588.1 **文献标志码**:A **文章编号**:1671-5888(2013)03-0765-11

Geochemical Characteristics and Tectonic Significance of Granitoid Rock in Alatage, Eastern Tianshan

Yu Jiyuan, Meng Yong, Li Jianxing, Guo Lin, Wang Jian
Xi'an Center of Geological Survey, China Geological Survey, Xi'an 710054, China

Abstract: The granitoid rocks in Alatage, located in southern margin of central Tianshan plate in Daheishan area, are mainly composed of granodiorite, adamellite and porphyaceous granite. The granites are characterized by high SiO_2(66.29%-77.47%), high Na_2O+K_2O (6.75%-9.93%), high Al_2O_3(10.97%-14.40%), and low Sr((28.78-153.00)×10^{-6}, averaging 99.23×10^{-6}), and low TiO_2 (0.09%-0.77%). The comprehensive analysis suggests that the granites are peraluminous calc-alkalic series rocks (A/CNK=1.19-1.50); REE analysis shows that the averaged ∑REE is 362.04×10^{-6}, the ratios of LREE/HREE and $(La/Yb)_N$ are 6.80-8.45, 6.06-9.03 respectively. The REE distribution patterns show that the granites are enriched in LREE and depleted in Eu; the trace elements distribution patterns show that the granites are enriched in Rb, Th, K, Hf and Zr(LILE)except Ba, and depleted in Nb, Ta, P and Ti(HFSE), especially depleted in Sr. Y-Nb, Y+ Nb-Rb and R_1-R_2 diagrams and Sr, Nd isotopic comprehensive analyses indicate a tectonic setting of post collision. The granites belong to granite complexes with mixed origin and multiple stages of intrusion.

Key words: eastern Tianshan; Alatage; geochemistry; tectonic significance; granitoid

---

收稿日期:2012-07-23
基金项目:中国地质调查局地质调查项目(1212010610313);国家自然科学基金青年基金项目(41202045)
作者简介:余吉远(1978－),男,助理研究员,主要从事岩石学、岩石地球化学方面研究,E-mail:yujiyuan111@163.com。

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

0 引言

阿拉塔格花岗岩岩体位于新疆哈密大黑山地区。20世纪70年代1∶20万区域地质调查时认为该岩体的时代为华力西早期①,而最新的1∶25万区域地质调查将其时代厘定为新元古代②,但都缺乏详细的地球化学分析。该岩体是古生代还是太古宙岩浆活动的产物,直接影响到对东天山构造-岩浆作用的重建和成矿作用的认识;而天山古生代洋盆闭合后,大规模后碰撞环境中形成的石炭—二叠纪花岗岩,其源区性质、与地壳生长和成矿作用的关系,是目前研究关注的热点。因此,作者在进行"新疆哈密大黑山地区1∶5万区域地质调查"项目时,对该岩体做了大量的岩石地球化学样品测试,以期为该区的构造-岩浆演化研究提供一些可靠的数据。

1 区域地质

阿拉塔格花岗岩岩体所处的大地构造位置为中天山卡瓦布拉克地块,北邻康古尔塔格碰撞带和吐哈盆地南缘古生代岛弧,南邻南天山碰撞带和敦煌地块[1-2],是大黑山地区规模最大、出露最好的岩体,附近有阿拉塔格铁矿(图1)。

2 岩体地质与岩相学特征

阿拉塔格岩体为一个多期次侵入的杂岩体。在前人研究的基础上,通过1∶5万区域地质调查,对该岩体进行了综合调查和研究,将该岩体分解为基性岩体、中性岩体和酸性岩体。此次所研究的是杂岩体最北端规模最大的酸性岩体(图2),岩性主要为似斑状花岗岩、二长花岗岩和花岗闪长岩。岩体内部发育大量的、规模不等、大小不一的东西向和南北向的基性脉岩,其中,南北向脉岩形成较早,被东西向脉岩切割。岩体与围岩呈明显的侵入接触关系,各岩相之间为渐变过渡关系。围岩为蓟县系卡瓦布拉克岩群,该岩群以碎屑岩为主,夹有碳酸盐岩和部分火山岩;主要岩性为大理岩、黑云石英片岩、火山碎屑岩等,为低绿片岩相变质,其原岩为碳酸盐岩、碎屑岩夹火山岩。

花岗闪长岩(图3a):肉红色,块状构造,花岗结构,主要组成矿物为斜长石(体积分数30%~40%)、钾长石(10%~15%)、石英(25%~35%)、黑云母(10%~15%)。另外,方解石体积分数为5%~10%,应是后期碳酸盐化所致。方解石细粒半自形粒状结构,矿物粒度为0.5~1.5 mm,斜长石为半自形板柱状,石英、钾长石为他形粒状。局部地方石英聚集成团块状,部分钾长石与石英组成文象结构。

二长花岗岩(图3b):肉红色,块状构造,花岗结构,主要组成矿物为钾长石(30%~40%)、斜长石(30%~40%)、石英(20%~30%)、黑云母(5%~10%)。钾长石和斜长石呈巨大的晶体,椭球状,粒径为10~15 mm,局部有斜长石与钾长石形成的蠕虫结构,有少量团块状黑云母残留。在粗晶长石之间,粗晶长石与石英集合体之间都分布蠕虫状的长石,粒径一般为1~2 mm,还有微粒集合体的矿物粒径小于0.2 mm。

似斑状花岗岩(图3c):浅褐色,似斑状结构,块状构造。斑晶最大达18 mm,可见环边结构。主要组成矿物为石英(15%~20%)、钾长石(30%~40%)、斜长石(20%~30%)、黑云母(10%~15%)。岩石可分为3个粒级:>3 mm,1~2 mm和0.1~0.3 mm。大于3 mm粗粒级由条纹长石组成,可见明显环带,内有斜长石残留和石英包体,在斑晶之间充填中、细粒石英和黑云母;1~2 mm中粒级由斜长石和石英组成,石英呈粒状集合体,斜长石呈半自形单体或集合体出现;0.1~0.3 mm细粒级由石英、斜长石和微斜长石细粒集合体组成。

3 分析方法

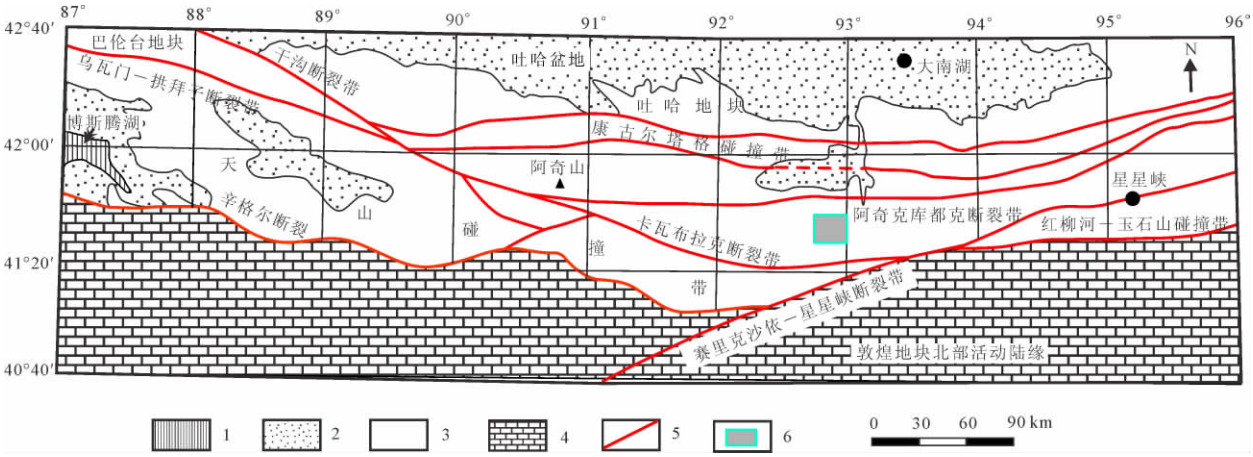
全岩的主量和微量元素测试由中国地质调查局西安地调中心实验测试中心完成,利用X荧光光谱仪和等离子体质谱仪进行测试。主量元素在X荧光光谱仪Axios4.0kW上测定。微量和稀土元素是在XseriesⅡ等离子质谱仪(ICP-MS)上进行的。

Sr、Nd同位素分析在中国地质调查局宜昌地质调查中心同位素超净实验室完成。全岩样品采用$HF+HClO_4$混合酸进行分解,Φ6 mm×100 mm的Dowex50×8阳离子树脂交换柱,HCl作淋洗液分离Rb、Sr和Ree、Sm、Nd,进一步的分离采用Φ6 mm×120 mmP_{204}萃淋树脂柱,HCl作淋洗液。全部化学分离流程均在超净化实验室中进行,全流程

① 新疆地质局第一区测大队.1∶20万喀拉塔格幅区域地质调查报告.乌鲁木齐:新疆自治区国土资源厅资料馆,1973.

② 郭华春,吴玉门,董富荣,等.1∶25万大黑山幅区域地质调查报告.乌鲁木齐:新疆自治区国土资源厅资料馆,2003.

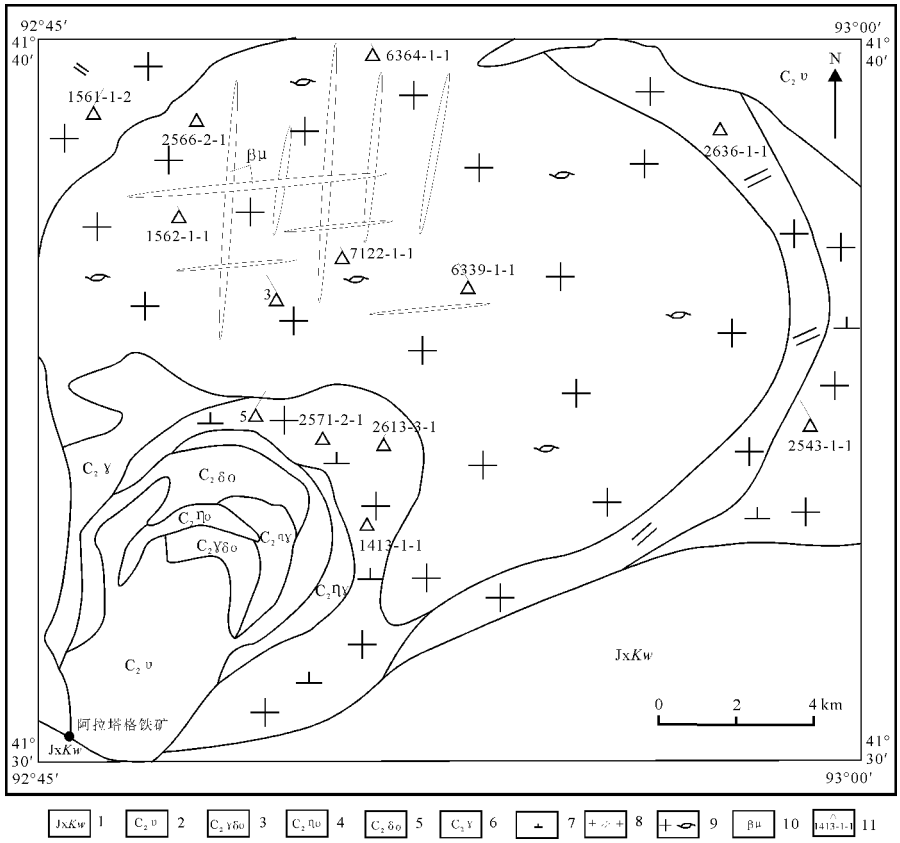
© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net



1. 湖泊；2. 新生代盆地；3. 东天山古生代造山带；4. 震旦纪地块；5. 主要断裂；6. 研究区。

图 1　研究区大地构造略图

Fig. 1　Tectonic sketch map of the study area



1. 卡瓦布拉克岩群；2. 辉长岩；3. 英云闪长岩；4. 石英二长岩；5. 石英闪长岩；6. 花岗岩；7. 花岗闪长岩；8. 二长花岗岩；9. 似斑状花岗岩；10. 辉绿岩脉；11. 采样位置及编号。

图 2　阿拉塔格岩体地质略图①

Fig. 2　Alatage granitoid rock geological sketch map

① 李建星，余吉远，孟勇，等. 1∶5 万双庆铜矿东幅区域地质调查报告. 西安：西安地质调查中心，2008.

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

a. 花岗闪长岩;b. 二长花岗岩;c. . 似斑状花岗岩。

图3 研究区花岗岩体野外照片

Fig 3 Granites photos of study area

本底 $m(Sr)$为 1×10^{-9} g,$m(Nd)$为 2.13×10^{-9} g,质谱分析在 MAT261 多接收质谱计上完成,用 $^{87}Sr/^{86}Sr=8.375\ 2$ 和 $^{143}Nd/^{144}Nd=0.721\ 9$ 对 Sr 和 Nd 作质量分馏校正,计算机自动处理数据,采用国际标准样 NBS987(Sr)和本实验室标准 ZkbzNd(Nd)控制仪器工作状态,国家一级标准物质 GBW04411(Rb-Sr)和 GBW04419(Sm-Nd)监控分析流程。

4 地球化学特征

主量和微量元素的分析结果见表1。岩体中 $w(SiO_2)$为 66.29%~77.47%,全碱含量($w(Na_2O+K_2O)$)为 6.75%~9.93%,且 Na_2O 总体略高于 K_2O,K_2O/Na_2O 值为 0.76~1.36,只有一件样品较低(0.21)外,其余平均值为 0.99,与标准花岗岩(1.06)相近[3];岩石具低 Ti($w(TiO_2)$=0.09%~0.62%)、富 Al($w(Al_2O_3)$=10.97%~14.40%)等特征。Frost 等[4]用 $w(SiO_2)$-TFeO/(TFeO+MgO)[3]图划分铁质和镁质花岗岩,并论述了铁质花岗质岩石多形成于拉张环境下,镁质花岗质岩石则常与消减作用有关;Barker 等[5]用 $w(K_2O)$-$w(Na_2O)$-$w(CaO)$图区分钙碱花岗岩系列和奥长花岗岩系列岩石类型;Maniar 等[6]用 A/CNK-A/NK图解中铝饱和指数来区分偏铝质或过铝质岩石;Castro 等[7]的 $w(SiO_2)$-$w(K_2O)$图划分低钾拉斑玄武岩系列、钙碱性系列、高钾钙碱性系列及钾玄岩系列,后碰撞期花岗岩主要属于高钾钙碱系及钾玄岩系列。$w(SiO_2)$-TFeO/(TFeO+MgO)和$w(K_2O)$-$w(Na_2O)$-$w(CaO)$图解(图4a、b)表明该岩体为铁质钙碱性系列岩石类型。铝饱和指数(A/CNK)=1.19~1.50,为过铝质岩石系列(图5a)。$w(SiO_2)$-$w(K_2O)$(图5b)判断岩石系列为高钾钙碱性-钾玄岩系列。

所有样品都具有相似的稀土分配模式(图6a),岩石的 LREE/HREE 和 $(La/Yb)_N$ 分别为 6.80~8.45 和 6.06~9.03,指示轻稀土分馏明显,且为轻稀土富集型。δEu=0.19~0.51,远小于1,具明显的铕负异常。在原始地幔标准化蛛网图上(图6b),所有样品均明显富集 Rb、Th、K 等大离子亲石元素(LILE)、LREE 和 Hf(Zr),亏损 Nb、Ta、P、Ti 等高场强元素(HFSE)。岩石的 Ba 含量相对较低,呈低谷,Sr 也具有明显的负异常。在岩浆结晶分异过程中,性质相近的元素在演化过程中不会造成分异,即其比值保持稳定[9]。这些特征元素的比值如 Zr/Hf、Nb/Ta 变化趋势完全一致,表明了该岩体为同源岩浆分异的产物。

5 讨论

5.1 岩浆物质来源

阿拉塔格花岗岩岩体为铁质的过铝质花岗岩。根据 Pearce 等[10]:火山弧花岗岩(VAG)和板内花岗岩(WPG)的微量元素均具有 Nb 的负异常,而板内花岗岩通常更富集 HREE,并且 Ba、Sr、P、Eu 和 Ti 的负异常更明显,并在 $w(Y)$-$w(Nb)$和 $w(Y+Nb)$-$w(Rb)$(图7)等花岗岩构造环境判别图中投点,全部样品都落入板内花岗岩区(WPG),这与 $w(K_2O)$-$w(SiO_2)$分类图一致(图8);同时,在微量元素蛛网图中该套岩石组合中的微量元素值分布的峰值套合较好并有一定的规律,Rb、Th、U、K 这些大离子半径的元素较为富集,Zr、Hf、Sm 等稀有元

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表 1　阿拉塔格花岗岩岩体主量、微量元素分析结果

Table 1　Major and trace elements composition of Alatage granitic rocks

样号	D7122-1-1	D2636-1-1	D1561-1-2	D6364-1-1	D1562-1-1	D1413-1-1	D6339-1-1	D2571-2-1	D2566-2-1	D2543-1-1	D2613-3-1	3	5
岩性	似斑状花岗岩	二长花岗岩	二长花岗岩	似斑状花岗岩	似斑状花岗岩	花岗闪长岩	似斑状花岗岩	花岗闪长岩	似斑状花岗岩	花岗闪长岩	花岗闪长岩	似斑状花岗岩	花岗闪长岩
SiO_2	74.78	72.16	76.24	76.55	76.62	69.1	72.46	67.55	70.49	67.94	68.73	77.47	66.29
TiO_2	0.14	0.35	0.15	0.11	0.09	0.62	0.37	0.61	0.47	0.53	0.55	0.15	0.77
Al_2O_3	12.32	12.95	12.46	11.9	11.83	13.75	13.34	13.87	13.78	14.40	13.83	10.97	13.35
Fe_2O_3	0.64	1.59	0.86	1.04	0.95	2.19	1.23	2.21	2.40	2.18	1.88	1.29	2.46
FeO	0.58	1.04	0.72	0.43	0.49	1.78	1.26	2.06	0.87	1.57	1.92	0.87	3.38
MnO	0.04	0.07	0.04	0.05	0.04	0.10	0.08	0.12	0.07	0.11	0.11	0.047	0.20
MgO	0.27	0.40	0.19	0.18	0.14	0.82	0.45	0.75	0.58	0.66	0.66	0.18	1.05
CaO	1.75	1.20	0.82	0.55	0.62	1.99	1.22	1.75	1.37	1.60	1.75	1.34	2.26
Na_2O	3.77	4.28	4.23	3.73	3.44	4.25	4.11	5.1	4.28	5.17	4.81	5.56	4.64
K_2O	3.38	4.36	3.23	4.38	4.67	3.99	4.46	4.83	4.33	4.66	4.69	1.19	3.97
P_2O_5	0.02	0.09	0.03	0.02	0.01	0.17	0.09	0.16	0.12	0.14	0.14	0.019	0.21
烧失量	1.94	1.27	0.67	0.65	0.57	0.9	0.57	0.65	0.89	0.72	0.57	0.40	0.64
总计	99.63	99.75	99.62	99.59	99.48	99.65	99.64	99.66	99.65	99.66	99.65	99.49	99.22
La	36.20	76.07	61.40	67.30	71.65	81.00	67.40	70.40	62.20	64.00	79.40	86.80	102.00
Ce	69.8	146.9	114.0	124.6	133.2	161.0	133.0	149.0	121.0	130.0	178.0	168.0	209.0
Pr	7.85	17.46	12.8	13.69	14.87	20.2	16.1	18.9	15.2	16.5	20.2	21.1	28.5
Nd	29.8	64.52	46.60	45.46	49.36	83.60	66.40	82.20	64.30	71.40	85.80	77.70	117.00
Sm	5.28	12.97	7.93	9.33	9.76	15.70	12.00	16.30	12.30	13.80	16.50	21.20	26.20
Eu	0.57	1.28	0.50	0.55	0.58	2.01	1.50	2.15	1.62	2.18	2.02	1.04	2.71
Gd	4.31	11.87	7.36	8.67	9.29	14.50	11.20	14.60	11.30	12.50	14.70	23.20	23.50
Tb	0.70	1.75	1.23	1.38	1.45	2.27	1.91	2.30	1.80	2.04	2.36	4.38	3.67
Dy	4.29	10.40	7.61	9.01	9.12	13.30	11.30	13.30	10.50	11.80	13.70	30.10	22.30
Ho	0.95	2.08	1.75	2.00	1.95	2.76	2.45	2.78	2.14	2.41	2.83	6.55	4.46
Er	2.92	6.38	5.32	6.84	6.45	7.50	6.81	7.42	5.78	6.56	7.65	21.2	13.20
Tm	0.49	0.92	0.93	1.11	0.97	1.13	1.15	1.18	0.91	1.03	1.18	3.29	1.86
Yb	3.46	6.04	6.43	7.96	6.65	6.97	7.14	7.16	5.55	6.38	7.24	21.40	12.40
Lu	0.58	0.90	1.06	1.25	1.01	1.03	1.15	1.09	0.85	1.00	1.15	3.08	1.86

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

表 1(续)

样号	D7122-1-1	D2636-1-1	D1561-1-2	D6364-1-1	D1562-1-1	D1413-1-1	D6339-1-1	D2571-2-1	D2566-2-1	D2543-1-1	D2613-3-1	3	5
岩性	似斑状花岗岩	二长花岗岩	二长花岗岩	似斑状花岗岩	似斑状花岗岩	花岗闪长岩	似斑状花岗岩	花岗闪长岩	似斑状花岗岩	花岗闪长岩	花岗闪长岩	似斑状花岗岩	花岗闪长岩
Y	27.20	56.58	51.20	59.12	56.07	71.80	67.10	71.60	54.70	63.60	75.10	191.00	114.00
Rb	222.00	142.20	278.00	209.40	140.90	122.00	173.00	112.00	142.00	112.00	117.00	37.70	111.00
Ba	302	286.5	118.00	71.59	84.64	445.00	349.00	476.00	425.00	474.00	448.00	140.00	300.00
Th	40.2	23.86	29.30	30.42	29.94	16.70	22.80	13.90	15.80	13.40	17.90	174.00	22.30
U	4.92	2.62	4.02	4.73	3.83	2.99	3.40	2.10	2.37	1.82	3.21	25.50	4.71
K	28 087	36 205	26 784	36 387	38 786	33 117	37 051	40 056	35 947	38 637	38 910	38 201	38 126
Nb	14.00	27.63	27.60	23.14	21.06	31.80	28.00	33.70	25.50	29.20	31.70	68.30	34.60
Sr	93.60	103.00	39.90	28.78	39.45	147.00	104.00	153.00	144.00	142.00	137.00	40.80	118.00
Zr	168.00	83.26	217.00	145.90	95.64	623.00	435.00	714.00	557.00	532.00	692.00	578.00	123.00
Ti	858	2 118	876	678	540	3 702	2 202	3 654	2 820	3 186	3 306	3 072	3 004.2
Ta	0.99	1.76	2.35	2.19	1.94	2.46	2.12	2.22	1.53	1.71	1.79	4.08	3.02
Hf	5.77	3.53	8.08	6.44	5.11	15.7	12.2	17.4	13.9	13.3	16.6	15.6	4.51
∑REE	167.20	359.54	274.92	299.15	316.31	412.97	339.51	388.78	315.45	341.60	432.73	405.39	419.32
LREE/HREE	8.45	7.91	7.68	6.83	7.57	7.35	6.88	6.80	7.12	6.81	7.52	7.52	7.71
$(La/Yb)_N$	7.50	9.03	6.85	6.06	7.73	8.34	6.77	7.05	8.04	7.20	7.87	7.94	8.10
δEu	0.37	0.32	0.20	0.19	0.19	0.41	0.40	0.43	0.42	0.51	0.40	0.42	0.41
δCe	1.02	0.99	1.00	1.01	1.00	0.98	0.99	1.00	0.96	0.98	1.09	1.08	1.11

注:主量元素质量分数单位为%,微量元素质量分数单位为 10^{-6}。

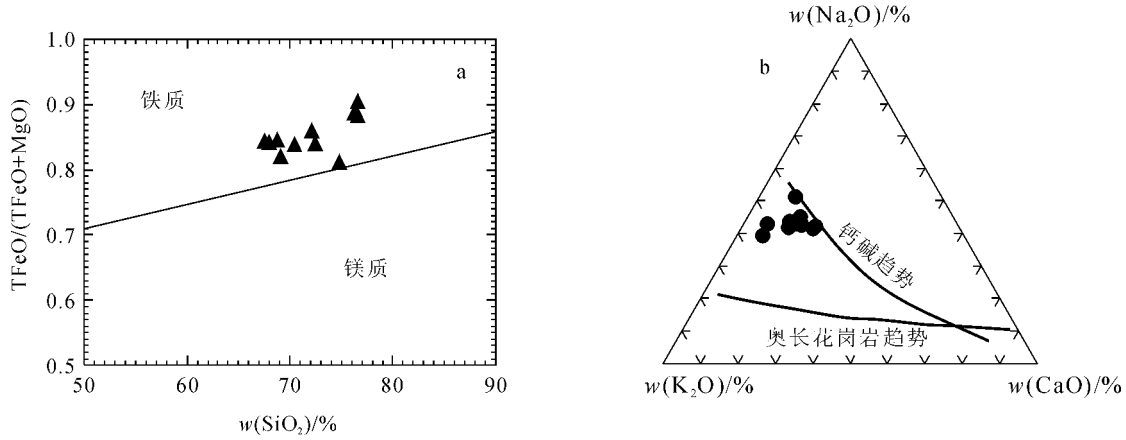
表 2 阿拉塔格花岗岩岩体 Sr-Nd 同位素分析结果

Table 2 Sr-Nd isotopic analyses of Alatage granitic rocks

样号	岩性	$w_B/10^{-6}$ Sm	Nd	$^{147}Sm/^{144}Nd$	$^{143}Nd/^{144}Nd$	$(^{143}Nd/^{144}Nd)(t)$	$\varepsilon_{Nd}(0)$	$\varepsilon_{Nd}(t)$	$w_B/10^{-6}$ Rb	Sr	$^{87}Rb/^{86}Sr$	$^{87}Sr/^{86}Sr$	$(^{87}Sr/^{86}Sr)(t)$
2636-1-1	二长花岗岩	10.60	52.88	0.121 3	0.512 584	0.512 345	−1.053 375	1.85	37.7	40.8	4.278	0.723 97	0.705 615
3	似斑状花岗岩	17.65	70.90	0.150 6	0.512 634	0.512 337	−0.078 028	1.70	111.0	118.0	2.549	0.723 51	0.712 574
5	花岗闪长岩	22.17	105.1	0.127 7	0.512 593	0.512 341	−0.877 812	1.78	142.2	103	2.629	0.716 91	0.705 630

注:$\varepsilon_{Nd}(t)$和$(^{87}Sr/^{86}Sr)(t)$计算时采用年龄值 301.5 Ma,是 1∶5 万项目在邻区获得的同一时代岩体的时代数据。

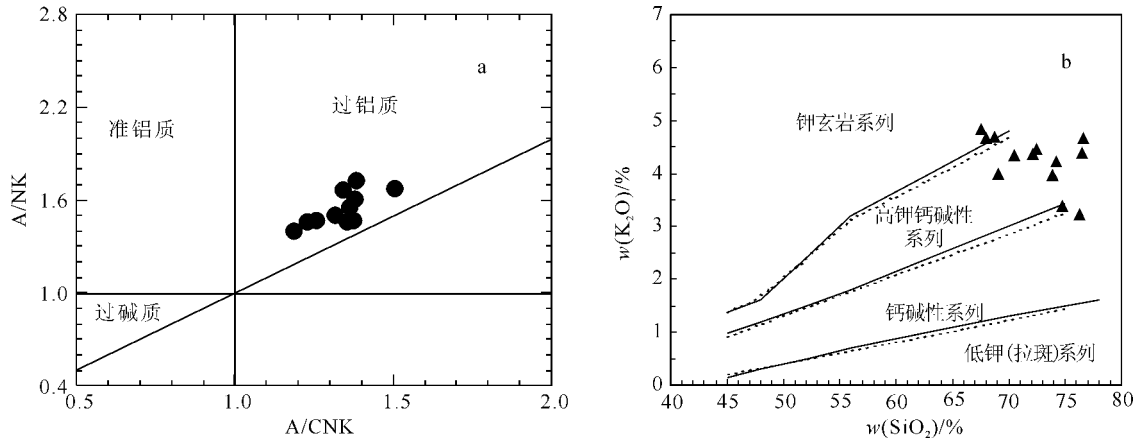
© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net



a. 底图据文献[4]；b. 底图据文献[5]。

图 4　阿拉塔格花岗岩体 $w(SiO_2)$-TFeO/(TFeO+MgO)和 $w(K_2O)$-$w(Na_2O)$-$w(CaO)$图解

Fig. 4　$w(SiO_2)$-TFeO/(TFeO+MgO) and $w(K_2O)$-$w(Na_2O)$-$w(CaO)$ diagram of Alatage granites



a. 底图据文献[6]；b. 底图据文献[7]。

图 5　阿拉塔格花岗岩类 A/CNK-A/NK(a)和 $w(SiO_2)$-$w(K_2O)$(b)图解

Fig. 5　A/CNK vs A /NK and $w(SiO_2)$-$w(K_2O)$ diagram of Alatage granites

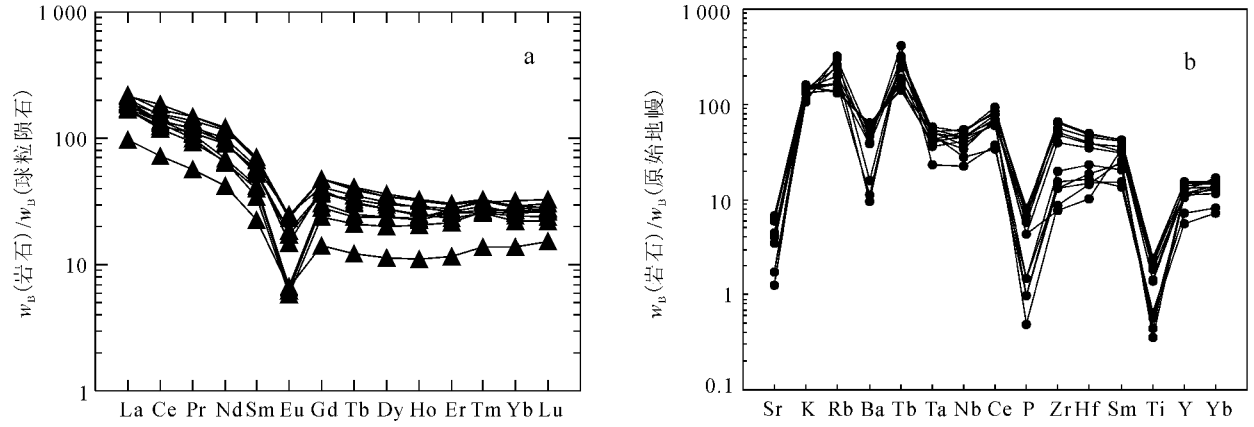
素也有一定富集，而 Nb、Ta、P、Ti 等这些元素呈现出负异常的特征，低 Sr 含量和 Eu 负异常说明在熔融过程中斜长石作为源区残留相，指示了其在低的 $\alpha(H_2O)$条件下发生了熔融[12]，但也可能是在岩浆分异过程中发生了斜长石的分离结晶作用。尤其是 Sr 的亏损表明该岩体物源来自于地壳[13]。而 Th/U 值为 5.58～9.11，大多数与下地壳的 Th/U 值(6.00)相近[14]。

对该岩体的 3 件样品作了 Sr、Nd 同位素测试(表 2)。$\varepsilon_{Nd}(t)$和$(^{87}Sr/^{86}Sr)(t)$计算时采用的年龄值为 301.5 Ma①，获得 $\varepsilon_{Nd}(t)=1.70\sim1.85$，全部为正值，显示地幔物源或下地壳物质部分熔融的源区特征，而初始锶同位素比值 $(^{87}Sr/^{86}Sr)(t)=0.705\ 615\sim0.712\ 574$，明显高于 0.705 4，显示地壳物源的特征或可能与大量壳源物质混染有关。在 $\varepsilon_{Nd}(t)$-$(^{87}Sr/^{86}Sr)(t)$图(图 9)上，样品点都落入第二象限，表示该岩体可能为地幔与新地壳混染的产物。

综合主量、微量元素特征和 Sr、Nd 同位素特

① 李建星，余吉远，孟勇，等. 新疆哈密大黑山地区裤子山等 4 幅 1∶5 万区域地质调查报告. 西安：西安地质调查中心，2008.

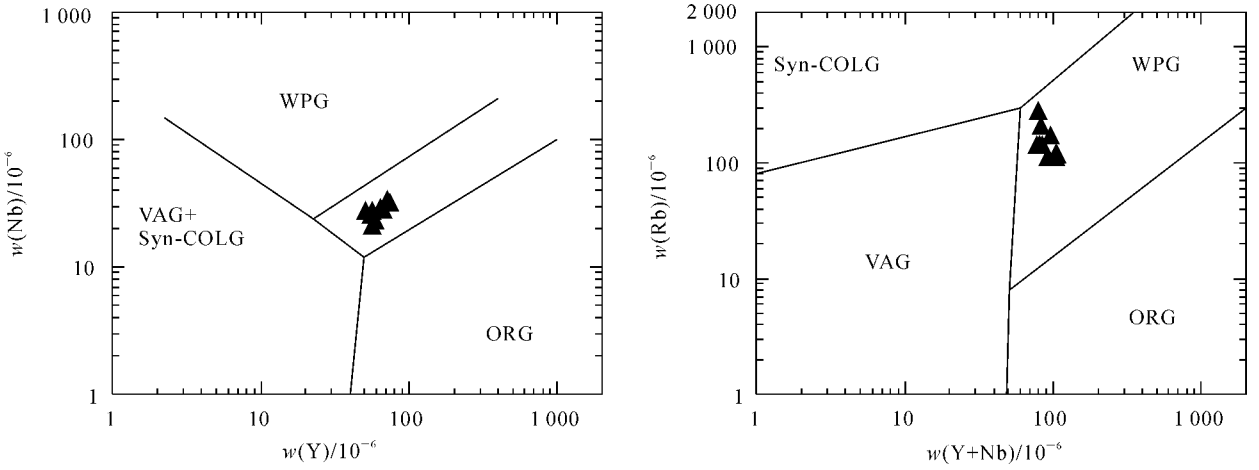
© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net



球粒陨石和原始地幔数据据文献[8]。

图6 阿拉塔格花岗岩类稀土元素球粒陨石标准化图解(a)和微量元素原始地幔标准化图解(b)

Fig. 6 Chondrite-normalized REE-patterns (a) and primitive-mantle-normalized trace element patterns (b) for the Alatage granitic rocks



Syn-COLG. 同碰撞花岗岩;VAG. 火山弧花岗岩;WPG. 板内花岗岩;ORG. 洋中脊花岗岩。

图7 阿拉塔格花岗岩构造环境判别图(底图据文献[10])

Fig. 7 Tectonic discrimination diagrams for Alatage granites(the base map from reference[10])

征,认为该岩体物质来源为壳幔混源,可能反映其源区为岩石圈和软流圈相互作用的产物,并遭受了地壳物质的强烈混染。

5.2 岩体形成的环境

长阿吾子—科克苏河蛇绿混杂岩和铜花山蛇绿混杂岩被认为是南天山洋俯冲消减的缝合带位置。而本文研究的阿拉塔格岩体处于中天山南缘(紧邻缝合带的北侧),前者的形成时代对研究该区构造-岩浆演化有着相当重要的影响。

Gao 等[16]获得长阿吾子—科克苏河蛇绿混杂岩套中含蓝闪石榴辉岩的 Sm-Nd 等时线年龄为(343 ± 43) Ma,蓝闪片岩中多硅白云母和钠质角闪石的^{40}Ar-^{39}Ar 年龄为 364～401 Ma;铜花山蛇绿混杂岩基质中蓝闪石的^{40}Ar-^{39}Ar 坪年龄为(360.7 ±1.6)Ma[17]。这些年龄值指示乌拉尔—南天山洋盆的消减时代可能为晚志留世—泥盆纪。从早古生代初期至泥盆纪,天山古生代洋盆体系经历了十分复杂的形成→扩张→消减→闭合→碰撞过程,并伴随有醒目的沟-弧-盆系岩浆的形成,于晚泥盆世—早石炭世初期闭合[18]。

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

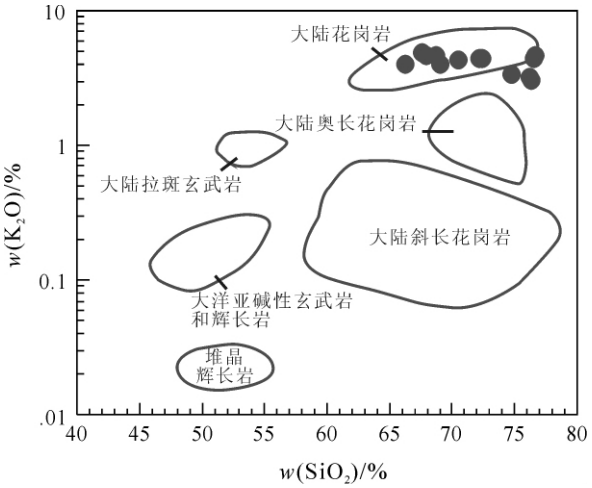


图 8　阿拉塔格花岗岩体 $w(K_2O)$-$w(SiO_2)$ 图解（底图据文献[11]）

Fig. 8　$w(K_2O)$-$w(SiO_2)$ diagram of Alatage granites (the base map from reference[11])

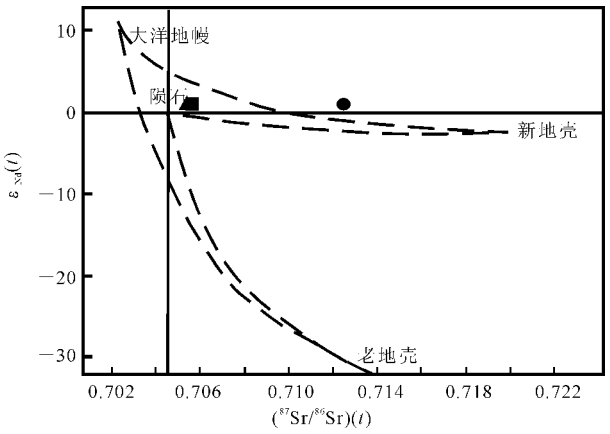
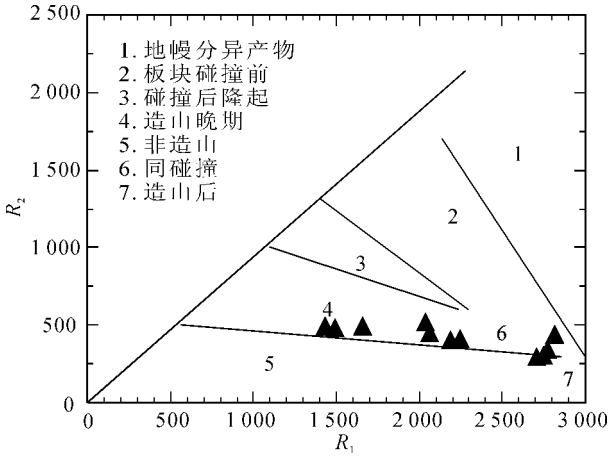


图 9　阿拉塔格花岗岩体 $\varepsilon_{Nd}(t)$-$(^{87}Sr/^{86}Sr)(t)$ 图（底图据文献[15]）

Fig. 9　$\varepsilon_{Nd}(t)$-$(^{87}Sr/^{86}Sr)(t)$ diagram of Alatage granites (the base map from reference[15])

天山地区经历了早古生代洋陆转化及之后的石炭—二叠纪大规模裂谷拉伸事件[19-23]。石炭—二叠纪天山正好处于后碰撞构造环境，是一个复杂的时期，十分发育铁质富钾钙碱性花岗质岩石[24]。综合分析图 6、7 以及图 10[25]，认为该岩体主体应为后碰撞构造环境的产物，并且是一个经历了多期次岩浆活动的复合岩体，这与物质来源较为复杂相吻合。区域上出露 300 Ma 左右的岩体最多①，预示着该时期是东天山构造带碰撞造山作用过程中岩浆活动最强、规模最大的时段。结合地球化学特征可知，南天山洋向北发生过俯冲造山作用，为完善天山东段构造带沟弧盆体系演化提供了佐证。



$R_1=4Si-11Na-11K-2Fe-2Ti$；$R_2=6Ca+2Mg+Al$。公式中元素符号代表其质量分数。

图 10　阿拉塔格花岗岩体 R_1-R_2 图解（底图据文献[25]）

Fig. 10　R_1 vs R_2 discrimination diagrams showing the tectonic settings for Alatage granites (the base map from reference[25])

6　结论

1）阿拉塔格花岗岩岩体以铁质高钾钙碱性系列为主，形成于晚石炭世的后碰撞构造环境。

2）岩石的 Sr、Nd 同位素显示，形成该花岗岩的岩浆来源于壳幔混合源区；野外观察及岩石地球化学研究表明，该岩体为一同源岩浆多期次演化的产物。

3）区域上出露石炭—二叠纪的岩体最多，预示着该时期是东天山构造带碰撞造山作用过程中岩浆活动最强、规模最大的时段。

该岩体的研究对建立和完善天山古生代构造-岩浆演化具有十分重要的借鉴和指导意义。

参考文献（References）：

[1] 李锦轶，王克卓，李文铅，等. 东天山晚古生代以来大地构造与矿产勘查[J]. 新疆地质，2002，20(4)：295-301. Li Jinyi，Wang Kezhuo，Li Wenqian，et al. Tectonic Evolution Since the Late Paleozoic and Prospecting in

① 李建星，余吉远，孟勇，等. 新疆哈密大黑山地区裤子山等 4 幅 1∶5 万区域地质调查报告. 西安：西安地质调查中心，2008.

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

Eastern Tianshan Mountains, NW China[J]. Xinjiang Geology, 2002, 20(4): 295-301.

[2] 李锦轶,王克卓,孙桂华,等. 东天山吐哈盆地南缘古生代活动陆缘残片:中亚地区古亚洲洋板块俯冲的地质记录[J]. 岩石学报, 2006, 22(5): 1087-1102.
Li Jinyi, Wang Kezhuo, Sun Guihua, et al. Paleozoic Active Margin Slices in the Southern Turfan-Hami Basin: Geological Records of Subduction of the Paleo-Asian Ocean Plate in Central Asian Regions[J]. Acta Petrologica Sinica, 2006, 22(5): 1087-1102.

[3] 侯万荣,聂凤军,胡建民,等. 内蒙古乌拉山地区沙德盖岩体年代学、地球化学特征及成因探讨[J]. 吉林大学学报:地球科学版, 2011, 41(6): 1914-1927.
Hou Wanrong, Nie Fengjun, Hu Jianmin, et al. Geochronology and Geochemistry of Shadegai Granites in Wulashan Area, Inner Mongolia and Its Geological Significance[J]. Journal of Jilin University: Earth Science Edition, 2011, 41(6): 1914-1927.

[4] Frost B R, Barnes C G, Collins W J, et al. A Geochemical Classification for Granitic Rocks[J]. J Petro, 2001, 42(11): 2033-2048.

[5] Barker F, Arth J G. Generation of Trondhjemitic-Tonalitic Liquids and Archean Bimodal Trondhjemite-Basalt Suites[J]. Geology, 1976, 4: 596-600.

[6] Maniar P, Piccoli P. Tectonic Diserimination of Granitoids[J]. Geol Soc Amer Bull, 1989, 101: 635-643.

[7] Castro A, Patino Douce A E, Corretge L G. Origin of Peraluminous Granites and Granodiorites, Iberian Massif, Spain: An Experimental Test of Granite Petrogenesis[J]. Contrib Mineral Petro, 1999, 135(2/3): 255-276.

[8] Sun S S, McDonough W F. Chemical and Isotopic Systematics of Oceanic Basalts: Plications for Mantle Composition and Processes[J]. Special Publication Geological Society of London, 1989, 42(1): 313-345.

[9] 王超,罗金海,车自成,等. 新疆欧西达坂花岗质岩体地球化学特征和锆石 LA-ICP-MS 定年:西南天山古生代洋盆俯冲作用过程的启示[J]. 地质学报, 2009, 83(2): 272-283.
Wang Chao, Luo Jinhai, Che Zicheng, et al. Geochemical Characteristics and U-Pb LA-ICP-MS Zircon Dating of the Oxidaban Pluton from Xinjiang, China: Implications for a Paleozoic Oceanic Subduction Process in Southwestern Tianshan[J]. Acta Geologica Sinica, 2009, 83(2): 272-283.

[10] Pearce J A, Lippard S J, Roberts S. Characteristics and Tectonic Significance of Suprasub-Duction Zone Ophiolites[C]//Kokelaar B P, Howells M F. Marginal Basin Geology. Oxford: Blackwell, Geol Soc, 1984: 77-94.

[11] 肖庆辉,邓晋福,马大铨. 花岗岩研究思维与方法[M]. 北京:地质出版社, 2002: 53-63.
Xiao Qinghui, Deng Jinfu, Ma Daquan. The Ways of Investigation on Granitoids[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2002: 53-63.

[12] Tepper J H, Nelson B K, Bergantz G W, et al. Petrology of the Chilliwack Batholith, North Cascades, Washington: Generation of Calc-Alkaline Granitoids by Melting of Mafic Lower Crust with Variable Water Fugacity[J]. Contributions to Mineralogy and Petrology, 1993, 113(3): 333-351.

[13] 郭春丽,王登红,陈毓川,等. 川西新元古代花岗质杂岩体的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄、元素和 Nd-Sr 同位素地球化学研究:岩石成因与构造意义[J]. 岩石学报, 2007, 23(10): 2457-2470.
Guo Chunli, Wang Denghong, Chen Yuchuan, et al. SHRIMP U-Pb Zircon Ages and Major Element, Trace Element and Nd-Sr Isotope Geochemical Studies of a Neoproterozoic Granitic Complex in Western Sichuan: Petrogenesis and Tectonic Significance[J]. Acta Petrologica Sinica, 2007, 23(10): 2457-2470.

[14] Rudnick R L, Cao S. Composition of the Continental Crust[C]//Rudnick R L. The Crust: Volume 3. Pergamon: Blaekwell Scientific Publications, 2003: 77-94.

[15] Allegre J, Othman B. The Granite Nd-Sr Isotopic Relations and the Development of Continental Crust: A Study of the Chemical Method of Orogeny[J]. Nature, 1980, 286(5771): 335-341.

[16] Gao Jun, Zhang L, Liu S. The $^{40}Ar/^{39}Ar$ Age Record of Formation and Uplift of the Blueschists and Eclogites in the Western Tianshan Mountains[J]. Chin Sci Bull, 2000, 45(11): 1047-1051.

[17] 刘斌,钱一雄. 东天山三条高压变质带地质特征和流体作用[J]. 岩石学报, 2003, 19(2): 283-296.
Liu Bin, Qian Yixiong. The Geologic Characteristics and Fluid Evolution in the Three High-Pressure Metamorphic Belts of Eastern Tianshan[J]. Acta Petrlogica Sinica, 2003, 19(2): 283-296.

[18] 夏林圻,夏祖春,徐学义,等. 天山岩浆作用[M]. 北京:中国大地出版社, 2007: 248-312.
Xia Linqi, Xia Zuchun, Xu Xueyi, et al. Tianshan Magmatism[M]. Beijing: China Land Press, 2007:

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

248-312.

[19] 夏林圻，张国伟，夏祖春，等. 天山古生代洋盆开启、闭合时限的岩石学约束：来自震旦纪、石炭纪火山岩的证据[J]. 地质通报，2002，21(2)：55-62.
Xia Linqi, Zhang Guowei, Xia Zuchun, et al. Constraints on the Timing of Opening and Closing of the Tianshan Paleozoic Oceanic Basin: Evidence from Sinian and Carboniferous Volcanic Rocks[J]. Geological Bulletin of China, 2002, 21(2): 55-62.

[20] 夏林圻，夏祖春，徐学义，等. 天山古生代洋陆转化特点的几点思考[J]. 西北地质，2002，35(4)：9-20.
Xia Linqi, Xia Zuchun, Xu Xueyi, et al. Some Thoughts on the Characteristics of Paleozoic Ocean-Continent Transition from Tianshan Mountains[J]. Northwestern Geology, 2002, 35(4): 9-20.

[21] 夏林圻，夏祖春，徐学义，等. 天山石炭纪大火成岩省与地幔柱[J]. 地质通报，2004，23(9/10)：903-910.
Xia Linqi, Xia Zuchun, Xu Xueyi, et al. Carboniferous Tianshan Igneous Megaprovince and Mantle Plume [J]. Geological Bulletin of China, 2004, 23(9/10): 903-910.

[22] Xia Linqi, Xia Zuchun, Xu Xueyi, et al. Carboniferous Post-Collisional Rift Volcanism of the Tianshan Mountains, Northwestern China[J]. Acta Geologica Sinica, 2003, 77(3): 338-360.

[23] Xia Linqi, Xu Xueyi, Xia Zuchun, et al. Petrogenesis of Carboniferous Rift-Related Volcanic Rocks in the Tianshan, Northwestern China[J]. Geol Soc Amer Bull, 2004, 116(3): 419-433.

[24] Barbarin B. A Review of the Relationships Between Granitoid Types, Their Origins and Their Geodynamic Environments[J]. Lithos, 1999, 46(19): 605-626.

[25] Batchelor R A, Bowden P. Petrogenetic Interprettion of Granitoid Rock Series Using Multicationic Parameters[J]. Chemical Geology, 1985, 48: 43-55.

（上接 764 页）

[24] 程裕淇，赵一鸣，林文蔚. 中国铁矿床[C]//《中国矿床》编委会. 中国矿床：中册. 北京：地质出版社，1994：386-478.
Cheng Yuqi, Zhao Yiming, Lin Wenwei. Iron Ore Deposits in China[C]//Editorial Board for Mineral Deposits in China. Mineral Deposits in China: Vol. 2. Beijing: Geological Publishing House, 1994: 386-478.

[25] 宋谢炎，王玉兰，张正阶，等. 层状侵入体韵律层理形成过程的定量模拟：以四川攀枝花层状岩体为例[J]. 地质学报，1999，73(1)：37-46.
Song Xieyan, Wang Yulan, Zhang Zhengjie, et al. Quantitative Simulation of Formation of the Rhythmic Layering in Layered Intrusions: A Case Study of the Panzhihua Layered Intrusion, Sichuan[J]. Acta Geologica Sinica, 1999, 73(1): 37-46.

[26] 欧新功，金淑燕，金振民. 辉长岩韵律层厚度的分形结构与模拟计算：以攀枝花层状侵入体为例[J]. 地球科学：中国地质大学学报，2001，26(6)：604-608.
Ou Xingong, Jin Shuyan, Jin Zhenmin. Fractal Structure and Simulation of Thickness of Gabbro Rhythmic Layer: A Sample from Panzhihua Layered Intrusion [J]. Earth Science: Journal of China University of Geosciences, 2001, 26(6): 604-608.

[27] 吴金平，李才伟，鲍征宇，等. 非均相转变动力学方程和攀枝花等岩体中小尺度嵌套韵律层理的自组织起因[J]. 中国科学：D 辑：地球科学，2004，34(3)：241-247.
Wu Jinping, Li Caiwei, Bao Zhengyu, et al. Heterogeneous Phase Change Kinetic Equation and Self-Organization Formation of Medium-Small Scale Nested Rhythmic Layering for Panzhihua Intrusion, etc[J]. Science in China: Series D: Earth Sciences, 2004, 34(3): 241-247.

[28] 罗照华，卢欣祥，刘翠，等. 岩浆热液成矿理论的失败：原因和出路[J]. 吉林大学学报：地球科学版，2011，41(1)：1-11.
Luo Zhaohua, Lu Xinxiang, Liu Cui, et al. On Failing of the Magmatic Hydrothermal Metallogenic Theory: The Causes and the New Departure[J]. Journal of Jilin University: Earth Science Edition, 2011, 41(1): 1-11.

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net