

文章编号: 1009-6248(2010)03-0001-011

天山北部上石炭统前峡组火山岩地球化学特征及构造意义

刘文斌¹, 琚根社², 崔霄峰¹, 覓广¹, 张明云³, 宋迎蔚²

(1. 河南省地质调查院, 河南 郑州 450001; 2. 河南省地质矿产勘查局区域地质调查队, 河南 郑州 450001; 3. 河南省地质矿产勘查局第二地质矿产调查队, 河南 许昌 461000)

摘要: 上石炭统前峡组火山岩位于早石炭世巴音沟蛇绿岩北侧, 为一套以火山碎屑岩为主夹熔岩和陆源碎屑岩建造。岩石及地球化学特征显示, 该组火山岩是以安山岩为主的玄武岩+ 玄武安山岩+ 安山岩+ 英安岩组合, 里特曼指数介于 1.20~3.43, 属钙碱性系列。稀土总量(ΣREE)为 $69.53 \times 10^{-6} \sim 111.32 \times 10^{-6}$, $(\text{Ce}/\text{Y})_{\text{N}} = 1.12 \sim 2.25$, $(\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}} = 1.86 \sim 5.39$, $\delta\text{Eu} = 0.79 \sim 1.21$, 为轻稀土略富集、Eu 亏损不明显的火山岩类型。岩石显著富集大离子亲石元素 K、Rb、Ba、Th, 亏损高场强元素 Nb、Ta、Hf、Ti、Y, 其中 Nb 含量绝大多数介于 $1.89 \times 10^{-6} \sim 2.65 \times 10^{-6}$, 与大洋地壳 Nb 含量平均值 2.2×10^{-6} 接近。锆初始比值为 0.70425~0.70428, 与岛弧区玄武岩的 0.70437 接近, 这些特征均与俯冲带大陆岛弧火山岩一致。与之伴生的滨浅海—半深海相沉积地层和南部早石炭世巴音沟蛇绿岩的存在, 表明前峡组火山岩是巴音沟蛇绿岩所代表的早石炭世洋壳在晚石炭世时期向北俯冲消减的产物。

关键词: 前峡组火山岩; 地球化学; 大陆岛弧; 晚石炭世; 天山北部

中图分类号: P595 **文献标识码:** A

上石炭统前峡组火山岩位于西天山北部的伊连哈比尔尕山北坡, 在沙湾县前峡及其以西最为发育。长期以来, 不同学者根据对巴音沟蛇绿岩及东天山和西北部天山地区地层、岩石、构造特征的研究, 对北天山晚古生代时期的古地理面貌、造山作用方式及北天山洋盆的关闭时限等问题的认识存在诸多分歧。关于晚古生代北天山地区造山作用的方式目前存在两种观点: 多数学者认为, 早石炭世巴音沟蛇绿岩代表的北天山洋盆地壳在晚古生代是自北向南俯冲消减的, 巴音沟蛇绿岩以及与其相伴的中泥盆世—石炭纪火山碎屑浊流沉积是伊犁地块(张良臣等, 1985; 肖序常等, 1992; 吴世敏等, 1996; 高俊等, 1997; 王博等, 2006) 和哈萨克斯坦板块北

缘(李锦轶等, 2006) 的弧前增生杂岩。部分学者认为, 天山洋盆地壳在晚古生代存在双向俯冲(姜常义等, 1993; 左国朝等, 2006)。关于北天山洋盆最终关闭的时限问题, 目前也存在着 3 种基本认识, 即早石炭世(夏林圻等, 2002)、晚石炭世(朱志新等, 2006)、石炭纪末—二叠纪初(舒良树等, 2001) 等。

笔者于 2004~2006 年承担完成了新疆维吾尔自治区地质矿产局 1:5 万大南沟达坂幅、亚马特达坂幅和头道河子幅区调, 填补了该地区大比例尺基础地质调查工作的空白, 对前峡组进行了岩石地层和火山喷发韵律划分, 对火山岩进行岩石及同位素地球化学测试分析。据其特征及其与巴音沟蛇绿岩

收稿日期: 2010-03-26; 修回日期: 2010-05-13

基金项目: 新疆维吾尔自治区区域地质调查项目(XJQDZ2004-40)

作者简介: 刘文斌(1962-), 男, 河南辉县人, 高级工程师, 从事区域地质矿产调查。E-mail: liuwenbin2007@163.com

之间的空间展布、时代特征,认为前峡组火山岩形成于大陆边缘岛弧环境,是早石炭世巴音沟蛇绿岩所代表的北天山洋盆地壳于晚石炭世向北俯冲消减于准噶尔板块之下并诱发岩石圈地幔发生部分熔融喷发的产物。北天山洋盆最终关闭的时限应该在石炭纪末—二叠纪初期。该认识对研究晚古生代北天山地区的古地理格局、板块构造边界性质和构造演化具有重要意义(张连昌等, 2009; 杨高等, 2009; 胡能高等, 2008; 黄喜峰等, 2008; 陈守建等, 2008;

杨高等, 2008; 苏春乾等, 2009; 梁志录等, 2008)。

1 区域地质背景

研究区位于天山造山带西北部,为哈萨克斯坦—准噶尔板块南缘之伊连哈比尔尓晚古生代沟弧带的组成部分(图 1)^①,是古亚洲洋在晚古生代时期形成和消亡过程中陆壳拼合、增生—俯冲—消减碰撞的产

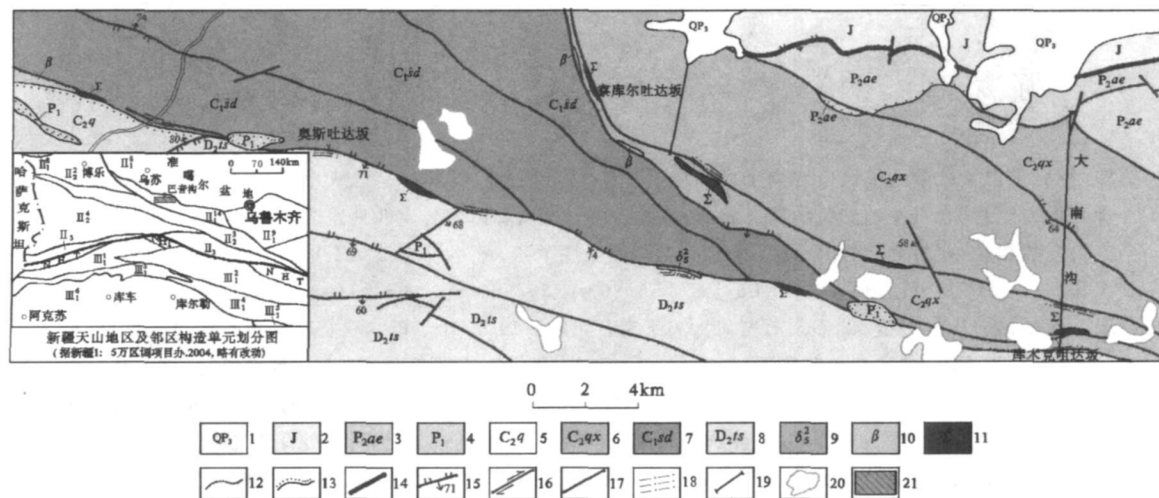


图 1 新疆乌苏奎屯河上游一带地质图

Fig. 1 Geological map of the upper reach of the Kuitun River in Wusu, Xinjiang

1. 第四系更新统; 2. 侏罗系; 3. 上二叠统阿尔巴萨依组; 4. 下二叠统未分; 5. 上石炭统齐尔古斯套组; 6. 上石炭统前峡组;
7. 下石炭统沙大王组; 8. 中泥盆统头苏接洽组; 9. 印支期闪长岩脉; 10. 玄武岩; 11. 超基性岩; 12. 地质界线; 13. 不整合
- 界线; 14. 区域性断裂; 15. 逆断层; 16. 走滑断层; 17. 性质不明断层; 18. 糜棱岩化带; 19. 地质剖面;
20. 冰雪覆盖区; 21. 工作区位置

· 哈萨克斯坦—准噶尔板块; 1. 准噶尔微板块; 2. 准噶尔中央地块哈里克生代复合岛弧带; 3. 博格达晚古生代弧后裂陷盆地; 4. 依连哈比尔尓晚古生代沟弧带; 5. 伊犁—伊赛克湖微板块; 6. 赛里木地块; 7. 阿吾拉勒晚古生代裂谷系; 8. 伊宁中央地块; 9. 巴伦台—星星峡离散带; 10. 塔里木—华北板块; 11. 塔里木微板块; 12. 东阿莱—哈尔克生代复合岛弧带; 13. 艾尔宾晚古生代残余盆地; 14. 虎拉山晚古生代裂陷槽; 15. 库鲁克塔格陆缘地块; 16. 北山古生代裂谷系; 17. 塔里木中央地块; NHT. 那拉提—红柳河缝合带

物(夏林圻等, 2006)。上石炭统前峡组与南、西部中泥盆统头苏泉组、下石炭统沙大王组和早石炭世巴音沟蛇绿混杂岩均为断层接触,与北部中二叠统阿尔巴萨依组为喷发不整合接触。在中部沿亚马特断层带,即域上称之为“天山主干大断裂”(新疆维吾尔自治区地质矿产局, 1993)分布有代表晚石炭世中晚期—二叠纪的周缘前陆盆地沉积(即图 1 中

的下二叠统未分 P_1 , 本次在该沉积序列上部的灰黑色薄层状粉砂岩中采到了孢粉化石: *Cordaitina* sp., *Cordaitina?* sp., *Crucisaccites?* sp., *Striatomonosaccites?* sp., *Striatoabieites?* sp., 南京古生物研究所欧阳舒鉴定为晚石炭世中晚期—二叠纪),与下覆含有晚石炭世有孔虫、苔藓虫化石的巴音沟蛇绿混杂岩为不整合接触。本组下部以陆缘火

①新疆维吾尔自治区 1:50 万区域地质调查项目办公室. 新疆板块构造划分, 2004.

山碎屑岩和沉积碎屑岩为主, 夹有少量安山质熔岩和含火山屑安山质熔岩。上部以薄层状凝灰质细碎屑岩、硅质岩和灰岩为主, 含有少量火山碎屑岩及火山碎屑熔岩, 具有复理石韵律特征。火山岩地层及岩石地球化学显示, 本组应产于陆缘火山弧环境中。本次在前峡组下部的薄层泥质粉砂岩中采到大量孢粉化石 *Parasaccites* cf. *radiplicatus* Maithy, *Striatolebachites* irregularis Wang, *Striatomonosaccites* cf. *stenosaccus* Wang, *Karamayisaccites* ovatus Zhan, *Striatoabieites* selliformis Zhan, *Protohaploxyphus* cf. *irregularis* Zhan, *P. junggarensis* Zhan, *Hamiapollenites* karamayiensis Zhan, *Lunatisporites*? sp., cf. *Klausipollenites* tetragonius Ouyang 等, 经南京古生物研究所欧阳舒鉴定, 其时代为晚石炭世中晚期 (Late Moscovian-Stephanian)。另在前峡组下部的安山质熔岩中采集测年样品 1 件, 经中国科学院地质研究所鉴定获得全岩 $Ar^{39}-Ar^{40}$ 同位素年龄为 308.7 Ma。因此, 将前峡组的地质时代确定为晚石炭世中晚期。

2 岩石地层剖面特征

研究样品主要采自大南沟剖面 (图 2-b), 部分采自安集海河剖面 (图 2-a)。

大南沟剖面位于沙湾县博尔通古乡大南沟, 起点坐标为: $x = 15\ 354\ 149$, $y = 4\ 859\ 422$; 终点坐标为: $x = 15\ 355\ 179$, $y = 4\ 870\ 848$ 。据岩性、岩相和岩石组合特征, 将前峡组划分出 49 个岩性层, 归并为 22 个喷发韵律和 2 个岩性段。其中, 下段有 7 个喷发韵律, 韵律结构特点主要为火山集块岩-含火山角砾凝灰岩、火山角砾岩-凝灰岩、火山角砾凝灰岩-安山岩和火山 (晶屑、岩屑) 凝灰岩-沉凝灰岩。上段有 15 个喷发韵律, 韵律结构特点主要为安山质火山角砾岩-安山质 (晶屑、岩屑) 凝灰岩-长石粉砂岩、安山 (或英安) 质晶屑岩屑凝灰岩-凝灰岩、安山 (或英安) 质晶屑岩屑凝灰岩-石英细砂岩或长石粉砂岩等。

安集海河剖面位于乌苏市巴音沟牧场安集海河上游, 起点坐标为: $x = 15\ 334\ 084$, $y = 4\ 862\ 400$; 终点坐标为: $x = 15\ 335\ 261$, $y = 4\ 873\ 703$ 。因断层切割未见顶、底, 出露厚度远小于大南沟剖面。据

岩性、岩相和岩石组合特征, 共划分出 28 个岩性层, 归并为 12 个喷发韵律和 2 个岩性段。其中, 下段有 6 个喷发韵律, 韵律结构特点以安山质火山角砾岩-安山质火山 (晶屑、岩屑) 凝灰岩为主, 个别为安山质火山 (岩屑、晶屑或玻屑) 凝灰岩-硅质岩。上段有 6 个喷发韵律, 韵律结构特点为安山质 (或英安质) 火山 (岩屑、晶屑) 凝灰岩-粉砂岩、硅质岩, 个别为中基性凝灰岩-玄武岩。

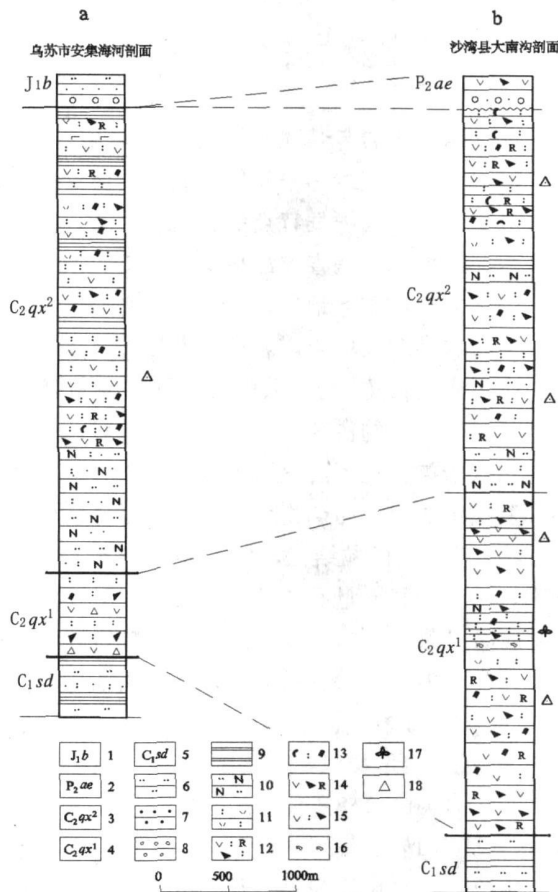


图 2 新疆乌苏巴音沟牧场上石炭统前峡组剖面柱状对比图

Fig. 2 Stratigraphic columns showing of the correlation between Upper Carboniferous Qianxia Formation in Bayingou Ranch of Wusu, Xinjiang

1. 下侏罗统八道湾组; 2. 中二叠统阿尔巴萨依组; 3. 上石炭统前峡组上段; 4. 上石炭统前峡组下段; 5. 下石炭统沙大王组; 6. 粉砂岩; 7. 砂岩; 8. 砾岩; 9. 硅质岩; 10. 长石粉砂岩; 11. 英安质凝灰岩; 12. 安山质熔结凝灰岩; 13. 玻屑晶屑凝灰岩; 14. 安山质火山角砾岩; 15. 安山质岩屑凝灰岩; 16. 集块岩; 17. 孢粉化石; 18. 采样层位

从以上 2 个剖面的简要描述中可以看出, 前峡组上、下段的岩性变化和韵律结构特征基本可以对比。下段的韵律结构特点是: 自下而上火山碎屑沉积物单层厚度逐渐变小, 粒度逐渐变细, 反映火山喷发的强度从早到晚逐渐减弱。上段韵律结构特点是: 自下而上火山碎屑沉积物单层厚度总体减小, 粒度变细, 沉积岩夹层数量增多, 反映从早到晚火山喷发强度具有逐渐减弱并趋于宁静的特点。

3 岩石类型及基本特征

前峡组火山岩与其他海相沉积岩-硅质岩、长石岩屑砂岩和薄层灰岩等呈互层状或呈夹层产出, 为一套具有海相火山喷发特点的火山岩建造。据《火山岩地区区域地质调查方法指南(1:5万)》(地质矿产部区域地质矿产地质司, 1987), 将本组火山岩划分为熔岩类和火山碎屑岩类 2 大类型。其中, 以火山碎屑岩类为主, 约占火山岩总量的 96.44%, 火山熔岩类较少, 约占 3.56%。

玄武岩类: 见于前峡组下段。呈灰绿色, 由斑晶和基质组成。斑晶矿物为少量斜长石, 呈半自形板柱状。基质具间粒结构, 由斜长石、单斜辉石、钛铁矿、黑云母和微量石英组成。其中, 斜长石呈板条状, 略显聚片双晶, 含量为 60%; 单斜辉石为柱粒状, 含量为 35%; 钛铁矿多蚀变为白钛矿, 含量为 3%; 黑云母为片状, 大部已变成绿泥石, 含量为 2%; 石英为他形粒状, 分布零星。

安山岩类: 分布于前峡组下段, 主要有安山岩和杏仁状安山岩。呈绿灰色和浅紫灰色, 由斑晶和基质组成。斑晶矿物为斜长石、角闪石、辉石和黑云母等, 另有少量杏仁石, 斜长石为半自形板柱状, 含量为 1%~40%; 角闪石少量, 呈褐色柱状; 单斜辉石少量, 为柱粒状, 具斜消光。基质由斜长石和玻璃质组成, 斜长石呈小板条状, 含量为 10%~95%。玻璃质呈褐色, 有脱玻化现象, 含量为 3%~95%。

火山碎屑熔岩类: 主要分布于前峡组下段, 有安山质角砾熔岩和安山质(含凝灰)熔岩。浅灰—浅绿灰色, 由碎屑和胶结物组成。碎屑物角砾主要为同成分安山岩, 多呈次棱角状, 含量为 1%~12%。胶结物为安山质熔岩, 有斑晶和基质组成。斑晶矿物主要为斜长石, 角闪石少量, 含量 1%~9%,

斜长石斑晶呈半自形板柱状, 显微聚片双晶, 基质为玻璃质, 含量为 79%~90%。

熔岩火山碎屑岩类: 前峡组上、下段中均有分布, 为本组最主要的岩石类型。主要有安山质熔火山角砾岩、英安质熔火山角砾岩和安山质熔火山凝灰岩等。岩石呈浅灰绿色—灰绿色, 由碎屑物和胶结物组成, 碎屑物主要为安山岩和英安岩角砾、岩屑、晶屑和玻屑。其中, 安山岩和英安岩角砾多呈棱角状, 含量为 3%~70%。岩屑以安山岩为主, 英安岩少量, 含量为 10%~85%。晶屑主要为斜长石和单斜辉石等, 含量为 3%~10%。斜长石具黏土化和绢云母化, 单斜辉石具斜消光, 玻屑多呈不规则撕裂状, 少数具鸡骨状, 含量为 15%~20%。胶结物多为安山质或英安质火山玻璃, 含量 5%~10%。

火山碎屑岩类: 前峡组上、下段均有分布, 其中粗碎屑岩主要分布于下段中, 主要岩石类型有安山质火山集块岩、安山质火山角砾岩、安山质凝灰岩和英安质凝灰岩等。以浅灰绿色为主, 由碎屑物和胶结物组成。碎屑物以岩屑和晶屑为主, 其中, 岩屑主要为安山岩, 从火山砂到火山集块均有分布, 含量为 5%~91%。晶屑以斜长石为主, 有少量石英、透辉石等, 含量为 1%~20%。斜长石具黏土化和绢云母化, 个别见双晶。透辉石为淡绿色短柱状, $C_{Ng}=38^\circ$ 。胶结物主要有火山灰和少量铁质, 含量为 5%~95%。

4 岩石地球化学特征

本次所采样品全部由国土资源部宜昌地质矿产研究所完成。主量元素采用 XRF 法分析, 分析误差小于 1%。微量元素采用了 ICP-MS 法分析, 检测限优于 0.5×10^{-6} , 相对标准偏差优于 5%, 分析结果列于表 1 中。

4.1 主量元素

从表 1 中看出, 前峡组火山岩样品的灼失量为 1.62%~5.93%, 除少数样品外, 大多数样品均小于 3%, 表明样品未经历过明显的蚀变。 SiO_2 含量为 51.51%~69.4%, 绝大多数在 50%~66%。 TiO_2 含量为 0.61%~1.12%, 小于 1.2%。 Al_2O_3 含量为 14.28%~18.5%, 绝大多数接近或大于 16%, $ALK(Na_2O+K_2O)$ 为 3.94%~6.82%, 且 K_2O/Na_2O 介于 0.15~0.6 之间, 小于 0.6。 P_2O_5 的含量为

表 1 天山北部上石炭统前峡组火山岩地球化学分析结果

Tab. 1 Major, trace element contents of Upper Carboniferous volcanic rocks from Qianxia Formation in Northern Tianshan

样品号		GS104/2	GS104/3	GS105/1	GS104/1	GS105/2	GS105/3	GS106/ 2	GS106/ 3	GS106/ 1	GS151/ 2
岩 性		安山岩	安山质角砾熔岩	玄武安山岩	安山质含凝灰熔岩	安山质含凝灰熔岩	英安质含凝灰熔岩	安山质角砾熔岩	安山质角砾熔岩	玄武质角砾熔岩	安山质含凝灰熔岩
剖面		大南沟剖面								安集海河剖面	
× 10 - 2	SiO ₂	56.26	64.71	53.77	60.39	57.77	69.47	55.42	55.09	51.51	57.49
	TiO ₂	0.79	0.68	0.74	0.69	0.80	0.61	1.08	1.02	1.12	1.03
	Al ₂ O ₃	17.74	16.14	18.50	14.31	17.01	14.28	15.94	17.74	15.82	16.20
	FeO	5.98	4.01	6.09	5.19	6.68	3.55	5.6	3.01	5.52	0.31
	Fe ₂ O ₃	1.49	0.18	1.00	0.32	0.15	0.14	3.90	2.76	5.99	8.47
	MnO	0.12	0.08	0.14	0.13	0.13	0.09	0.17	0.17	0.18	0.21
	MgO	3.52	1.77	3.70	2.89	3.30	0.90	3.68	2.29	5.01	2.85
	CaO	5.00	2.38	5.44	5.20	5.06	2.46	4.63	6.95	4.10	4.41
	Na ₂ O	4.50	5.45	5.30	3.81	3.63	3.51	3.56	2.99	5.27	4.62
	K ₂ O	1.06	1.38	0.78	1.54	1.22	2.12	1.53	0.95	0.88	1.65
P ₂ O ₅	0.18	0.13	0.30	0.14	0.15	0.15	0.23	0.24	0.21	0.23	
LOI	1.91	1.84	2.88	4.06	2.66	1.62	3.72	5.93	3.18	2.04	
Total	98.55	98.75	98.67	98.67	98.56	98.90	99.46	99.14	98.79	99.51	
Mg [#]	0.32	0.30	0.35	0.35	0.33	0.20	0.29	0.29	0.31	0.26	
σ	2.33	2.15	3.43	1.65	1.59	1.20	2.09	1.28	4.45	2.71	
× 10 - 6	La	10.10	19.20	12.60	10.20	12.00	13.00	10.30	8.66	8.59	11.30
	Ce	20.40	32.90	23.40	18.00	18.10	24.40	19.40	18.30	15.20	22.70
	Pr	2.53	4.16	2.67	2.23	2.22	3.25	3.16	3.14	1.98	3.36
	Nd	12.2	16.10	13.30	11.1	10.60	14.50	15.00	13.1	9.59	15.10
	Sm	2.94	3.72	2.46	2.69	2.92	3.3	3.65	3.82	2.81	3.85
	Eu	1.00	0.97	0.84	0.87	0.84	1.13	1.46	1.66	0.99	1.43
	Gd	2.90	3.66	2.28	3.04	2.60	3.95	4.90	4.62	3.48	4.64
	Tb	0.48	0.64	0.34	0.51	0.45	0.70	0.88	0.75	0.63	0.81
	Dy	3.08	4.35	2.01	3.62	2.82	4.64	6.03	5.79	4.21	5.82
	Ho	0.58	0.86	0.42	0.69	0.52	0.91	1.22	1.11	0.84	1.14
	Er	1.59	2.68	1.03	2.28	1.72	3.03	3.60	3.38	2.62	3.54
	Tm	0.22	0.40	0.15	0.31	0.23	0.47	0.52	0.47	0.37	0.50
	Yb	1.54	2.61	0.85	2.04	1.50	2.76	3.37	3.14	2.47	3.25
	Lu	0.22	0.37	0.12	0.28	0.21	0.36	0.46	0.42	0.34	0.43
Y	12.80	18.70	9.91	9.80	12.80	23.90	26.30	22.90	19.70	22.40	
ΣREE	72.58	111.32	72.37	77.66	69.53	100.30	100.25	91.26	73.82	100.20	
(Ce/Y) _N	2.10	2.25	3.23	1.38	2.04	1.46	1.12	1.14	1.13	1.36	
(La/Yb) _N	4.42	4.96	9.99	3.37	5.39	3.18	2.06	1.86	2.34	2.34	
δEu	1.04	0.79	1.07	0.93	0.91	0.96	1.06	1.21	0.97	1.03	
× 10 - 6	Sr	620	451	730	275	504	287	1500	3220	287	487
	Rb	8.05	22.7	7.6	15.7	15.4	30.4	14.6	17.3	7.6	21.91
	Ba	304	332	202	339	295	298	457	396	428	450
	Th	3.04	3.93	1.48	5.14	4.33	2.51	3.89	4.96	5.77	9.87
	Ta	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5
	Nb	2.04	3.92	2.57	1.89	1.89	3.95	2.18	2.49	2.43	2.52
	Zr	73.2	167	72.5	92.4	99.1	106	99	106	88.7	89.9
	Hf	2.38	5.38	2.59	3.20	3.77	3.62	3.80	4.00	3.78	3.86
	Sm	2.94	3.72	2.46	2.69	2.92	3.30	3.65	3.82	2.81	3.85
	Ti	4734.9	4075.6	4435.2	4135.5	4794.8	3656.0	6473.0	6113.4	6712.7	6173.3
	Y	12.8	18.7	9.9	19.8	12.8	23.9	26.3	22.9	19.7	22.4
	Yb	1.54	2.61	0.85	2.04	1.5	2.76	3.37	3.14	2.47	3.25
Zr/ Hf	30.76	31.04	27.99	28.88	26.29	29.28	26.05	26.50	23.28	23.29	
Hf/ Ta	4.76	10.76	5.18	6.40	7.54	7.24	7.60	8.00	7.56	7.72	
Nb/ La	0.20	0.20	0.20	0.19	0.16	0.30	0.21	0.29	0.28	0.22	
Rb/ Sr	0.01	0.05	0.01	0.05	0.83	0.11	0.01	0.01	0.03	0.05	

注: 安山质角砾熔岩样品在采集过程中已经将火山角砾除去, 安山质含凝灰熔岩样品中的火山灰含量小于10%, 且与安山质熔岩是同成分的。安山质含凝灰熔岩中的全部样品由国土资源部宜昌地质矿产研究所测试完成, 主元素 (× 10⁻²) 采用XRF 法分析; 微量元素 (× 10⁻⁶) 及稀土元素 (× 10⁻⁶) 采用了ICP-MS 法分析; 锆同位素用VG354 质谱仪分析。Mg[#] = Mg²⁺ / (Mg²⁺ + Fe²⁺); σ= (K₂O+ Na₂O)² / (SiO₂ - 43)。

0.13% ~ 0.30%, 在 0.05% ~ 0.30% 范围内 (邱家骧等, 1991)。

在 TAS 图 (图 3) 上有 3 件样品分别落入玄武质粗面安山岩和粗面安山岩区, 其他 7 件样品分别落入玄武安山岩区、安山岩区和英安岩区内。结合镜下鉴定和化学分析结果, 说明前峡组火山岩为一套以安山岩为主的玄武岩+安山岩+英安岩组合。在 SiO_2 - K_2O 图 (图 4) 上, 所有样品均处于钙碱性系列范围内; 里特曼指数 $\sigma = 1.28 \sim 4.44$ 。其中, 有 9 件样品在 1.28 ~ 3.43, 说明本组火山岩属于钙碱

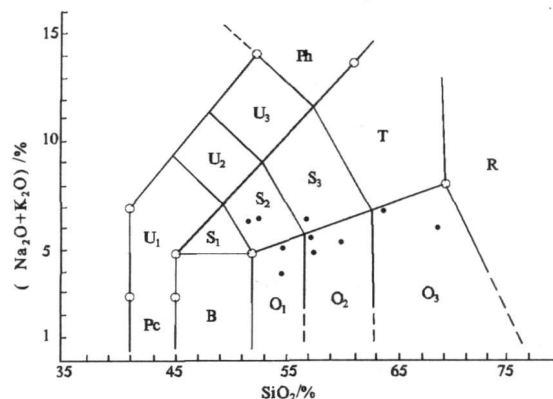


图 3 天山北部上石炭统前峡组火山岩 TAS 图解

Fig. 3 TAS diagram for Upper Carboniferous volcanics in Qianxia Formation in North Tianshan Mountains (M. J. Le Bas 等, 1986, TUGS, 1989)

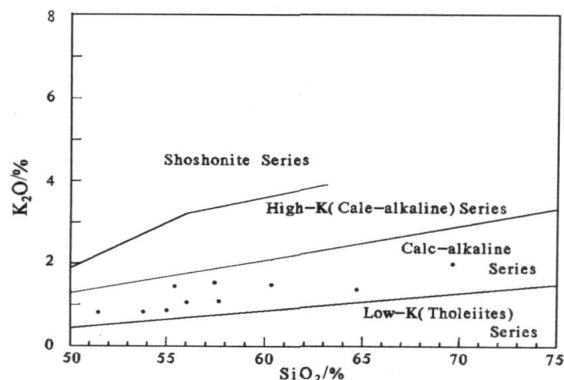


图 4 天山北部上石炭统前峡组火山岩 SiO_2 - K_2O 图解

Fig. 4 SiO_2 - K_2O Diagram for Upper Carboniferous volcanics in Qianxia Formation in North Tianshan Mountains (据 Middlemost, 1985)

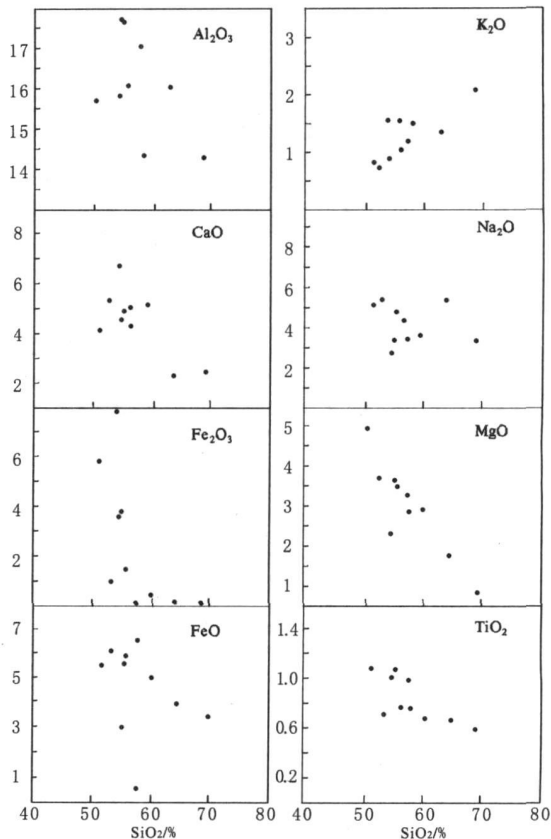


图 5 天山北部上石炭统前峡组火山岩主元素 Harker 图解

Fig. 5 Main elements' Harker diagrams for Upper Carboniferous volcanics in Qianxia Formation in North Tianshan Mountains

性系列。玄武质岩石具有较低的 MgO 含量 (5.01%) ($< 7\%$), $\text{Mg}^\#$ 指数为 31, 在主元素 Harker 图解 (图 5) 上, 各元素氧化物与 SiO_2 之间具有相对较好的线型关系。其中, K_2O 与 SiO_2 为正相关, 其他各元素氧化物与 SiO_2 之间均为负相关, 表明岩浆在形成过程中发生过明显的结晶分异。

4.2 稀土元素

前峡组火山岩的稀土元素总量 (ΣREE) 相对较低, 为 $69.53 \times 10^{-6} \sim 111.32 \times 10^{-6}$, 各岩石稀土总量变化不大, $(\text{Ce}/\text{Y})_N = 1.12 \sim 3.23$, 大多数都比较接近, 在 1.29 ~ 3.23, 大于地幔岩的 1.13 ~ 1.14。 $(\text{La}/\text{Yb})_N = 1.86 \sim 9.99$, 为轻稀土富集型, 表明岩浆在形成和演化过程中, 轻重稀土发生了比较明显的分馏。 $\delta\text{Eu} = 0.79 \sim 1.21$, 大多数接近或略大于 1, Eu 亏损不明显或为正异常, 表明岩浆演化过程中,

斜长石的分离结晶不太显著。稀土元素标准化分布形式, 除样品 GS104/3 为陡倾斜外, 其他各样品均为略向右倾的平滑型曲线 (图 6), 且各样品稀土曲线变化特点基本一致, 说明它们具有同源特征。样品 GS104/3 出现了不同于其他样品的稀土元素分布形式, 与其强烈富集 La (19.20×10^{-6})、 Ce (32.90×10^{-6}) 等轻稀土和具有中等程度的 Eu 亏损 ($\delta\text{Eu} = 0.79$) 有关, 暗示岩浆在上升运移的过程中可能经历了较强的分离结晶, 并受到了上部地壳物质的混染。

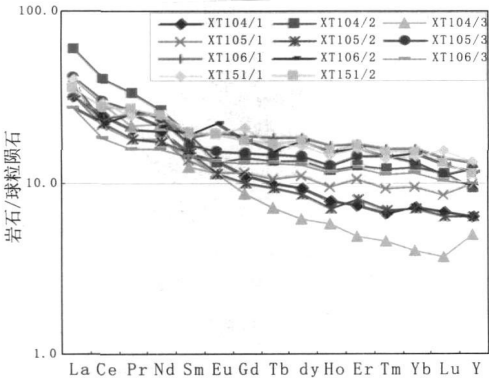


图 6 天山北部上石炭统前峡组火山岩稀土分布形式
Fig. 6 Chondrite-normalized REE patterns for Upper Carboniferous volcanics in Qianxia Formation in North Tianshan Mountains

4.3 微量元素

与主元素相比, 微量元素对岩浆岩的物质来源、演化过程和形成环境具有更好的示踪作用。在 Nb/Y-Zr/Ti 图解 (图 7) 中, 前峡组火山岩样品投点主要集中于安山岩和流纹英安岩区内, 少量投入到玄武质安山岩区, 同样说明前峡组火山岩是玄武岩+ 安山岩+ 英安岩组合。微量元素比值可以反映岩浆演化过程中的分离结晶程度, 从表 1 中可以看出, 本组火山岩的 $\text{Zr/Hf} = 23.28 \sim 31.04$, 个别为 40.4。 $\text{Hf/Ta} = 4.76 \sim 8.00$, 个别为 10.76。 $\text{Nb/La} = 0.16 \sim 0.30$, $\text{Rb/Sr} = 0.01 \sim 0.05$, 个别为 0.11。各样品的上述比值总体变化不大, 也可说明前峡组火山岩在形成演化过程中经历了比较明显的分离结晶。在球粒陨石标准化微量元素蛛网图 (图 8) 上, 前峡组火山岩具有一个共同的特点, 均以富集大离子亲石元素 (LILE) K 、 Rb 、 Ba 、 Th 和亏损高场强元素 (HFSE) Nb 、 Ta 、 Hf 、 Ti 、 Y 为特征, 具有

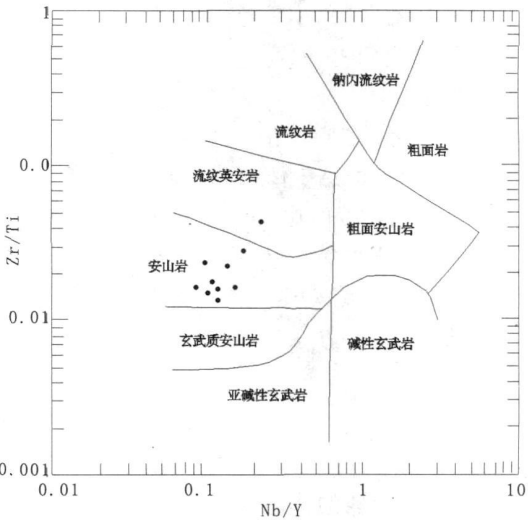


图 7 天山北部上石炭统前峡组火山岩 Nb/Y-Zr/Ti
Fig. 7 Nb/Y-Zr/Ti ratios of Upper Carboniferous volcanics in Qianxia Formation in North Tianshan Mountains

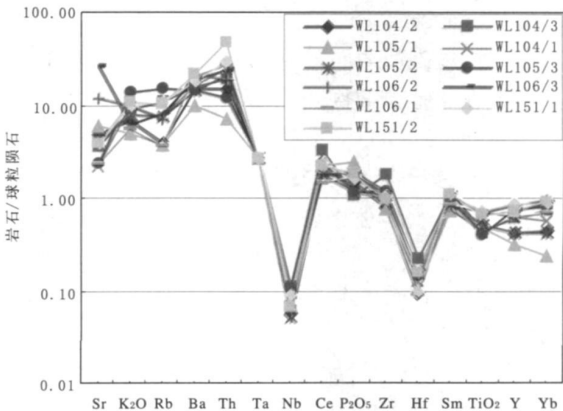


图 8 天山北部上石炭统前峡组火山岩微量元素蛛网图
Fig. 8 Spider diagram for Upper Carboniferous volcanics in Qianxia Formation in North Tianshan Mountains

岛弧火山岩的地球化学特点, 反映出在俯冲条件下, 下降的洋壳板片发生变质和脱水, 导致地幔岩石在富水环境中部分熔融, 从而造成富含高场强元素 (HFSE) 的难熔矿物, 如铌钛酸盐类、金红石、锆石等更多地留在源区的残余固体相中, 而大离子亲石元素 (LILE) K 、 Rb 、 Ba 、 Th 等则倾向于在长英质熔体中富集。另一方面, 前峡组火山岩的微量元素总量较低。其中, Nb 的含量绝大多数集中于 1.89

$\times 10^{-6} \sim 2.65 \times 10^{-6}$, Ta 含量小于 0.7, 均与比较典型的岛弧型火山岩一致。

4.4 锶同位素

本次在前峡组下段的安山岩和玄武安山岩中各采集 Sr 同位素样品 1 件, 经测定其 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值分别为 0.70415 ± 0.00003 和 0.70419 ± 0.00006 , 与岛弧区玄武岩的 0.70437 非常接近 (韩吟文等, 2003), 说明前峡组火山岩是由含水的地幔岩石经部分熔融形成的。

5 讨论

5.1 火山岩形成的构造环境

前峡组火山岩明显富集 LILE 和亏损 HFSE, 与洋壳俯冲导致地幔楔形区发生部分熔融形成的岛弧玄武岩特征一致。K、Rb、Ba、Th 的显著富集是在俯冲条件下, 地幔岩石在富水环境中发生部分熔融时, 它们作为不相容元素首先进入长英质熔体相的结果。而 Nb、Ta、Hf、Ti、Y 的亏损则与此相反, 表明它们在地幔岩石发生部分熔融时, 作为相容元素残留在了地幔源区。

在 Hf/3-Th-Ta 图解 (图 9-a) 中, 前峡组火山岩样品全部投点于钙碱性玄武岩区内, 表明这些火山岩形成于会聚板块边缘环境中。在不相容元素 Yb 标准化 Th-Nb 坐标系 (图 9-b) 中, 除样品 GS151/2 投在大陆岛弧火山岩区之外, 其他 9 件样品全部

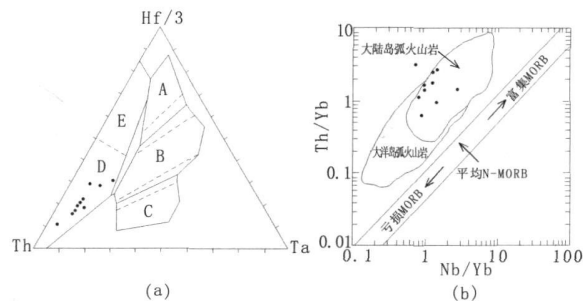


图 9 天山北部上石炭统前峡组火山岩

Hf/3-Th-Ta 图解和 Th/Yb-Nb/Yb 图解

Fig.9 Hf/3-Th-Ta discriminatoin diagram for Upper Carboniferous volcanics in Qianxia Formaton in North Tianshan Mountains

A. 洋脊玄武岩; B. 富集洋脊玄武岩和拉斑玄武岩; C. 板内碱性玄武岩; D. 钙碱性玄武岩; E. 岛弧拉斑玄武岩

投入到大陆岛弧火山岩和大洋岛弧火山岩的重叠区之内, 且明显偏向于大陆岛弧区。同时, 这些样品大多数位于大陆岛弧火山岩和大洋岛弧火山岩重叠区的边界线附近, 表明前峡组火山岩更具有大陆岛弧火山岩的特征, 其原始岩浆在上升过程中很可能受到了新生地壳物质的混染。

此外, 前峡组火山岩经常与代表弧前盆地浅水沉积的岩屑砂岩和代表较深水沉积的凝灰质粉砂岩、(粉砂质) 硅质岩等共生并组合成不同的韵律层, 反映出本组火山岩岩浆具有喷发不连续的特点, 同样可以说明本火山岩形成于俯冲带之上的大陆岛弧环境中。

5.2 前峡组火山岩的地质意义

长期以来, 国内多数学者倾向认为, 在晚古生代时期, 北天山洋主要是通过向中天山之下的俯冲消减而最终关闭 (钱青等, 2006)。少数学者认为, 北天山洋是通过向中天山和准噶尔板块的双向俯冲而最终消亡。笔者研究认为, 前峡组火山岩主要来源于俯冲洋壳板片之上的地幔楔形区岩石的部分熔融, 指示其南侧出露的巴音沟蛇绿岩是北天山洋盆地壳向北部准噶尔板块俯冲消减的结果, 此时的准噶尔板块南缘和中天山或伊犁微板块北缘一样也曾经是活动陆缘。野外调查和前人研究成果表明, 巴音沟蛇绿岩和前峡组火山岩在空间位置、时代特征等方面存在着很好的对应关系 (徐学义等, 2005, 2006)。在研究区北部约 3 km 的巴音沟蛇绿岩中, 曾先后测得其辉长岩、斜长花岗岩的 U-Pb 年龄、SHRIMP 锆石年龄分别为 $(344.0 \pm 3.4) \text{ Ma}$ 和 $(324.8 \pm 7.1) \text{ Ma}$, 说明巴音沟蛇绿岩为北天山洋在早石炭世裂解、扩张的产物。本次在前峡组采到了晚石炭世中晚期的孢粉化石。基于上述成果, 笔者认为, 研究区前峡组火山岩是早石炭世北天山洋盆地壳在晚石炭世中晚期向北侧准噶尔板块俯冲消减的过程中形成的。从而证明, 在晚古生代时期, 北天山地区的大洋地壳曾经发生过向北部准噶尔盆地的俯冲消减事件, 这对重新认识北天山地区的构造演化及板块相互作用方式具有重要意义。

6 结论

(1) 上石炭统前峡组火山岩与成熟度极低的陆源碎屑岩共生, 为一套以安山岩为主的玄武岩+ 玄

武安山岩+ 安山岩+ 英安岩组合, 绝大多数岩石样品的特曼指数在 1.28~3.43, 表明本组火山岩属钙碱性岩系, 形成于活动陆源环境。

(2) 本组火山岩轻稀土较重稀土富集, Eu 异常不明显, 并显著富集大离子亲石元素 K、Rb、Ba、Th, 亏损高场强元素 Nb、Ta、Hf、Ti、Y, 与俯冲洋壳诱发地幔楔形区岩石发生部分熔融形成的火山弧岩浆岩特征一致。

(3) 前峡组火山岩与巴音沟蛇绿岩之间的空间展布和时代特征, 表明前者是由后者所代表的早石炭世洋壳在晚石炭世向北俯冲消减的结果。

(4) 根据区内早二叠世末分 (P_1) 地层和下覆蛇绿混杂岩之间的不整合接触关系以及二者所含有的古生物特征、同位数年龄等, 将北天山洋盆最终关闭的时间限定在石炭纪末—二叠世初期。

致谢: 李秋生、柴建玉、刘传权及谭和勇等同志参加了项目野外调查, 在成文过程中一直得到中科院地质及地球物理研究所张旗研究员的关心和指导, 作者在此对他们表示衷心感谢!

参考文献 (References):

张良臣, 吴乃元. 天山地质构造及演化史 [J]. 新疆地质, 1985, 3 (3): 1-14.

Zhang Liangchen, Wu Naiyuan. Geological Structure and its Tectonic Evolution of the Tianshan Mountains [J]. Xinjiang Geology, 1985, 3 (3): 1-14.

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.

Xiao Xuchang, Tang Yaoqing, Feng Yimin, et al. Tectonic Evolution of the Northern Xinjiang and its Adjacent Regions [M]. Geology Publishing House, Beijing, 1992.

吴世敏, 马瑞士, 卢华复, 等. 新疆西天山古生代构造演化 [J]. 桂林工学院学报, 1996, 16 (2): 95-101.

Wu Shimin, Ma Ruishi, Lu Huafu, et al. Tectonic Evolution of Western Tianshan Mountains of Xinjiang in Paleozoic [J]. Journal of Guilin University of Technology, 1996, 16 (2): 95-101.

高俊, 何国琦, 李茂松. 西天山造山带的古生代造山过程 [J]. 地球科学, 1997, 22: 27-32.

Gao Jun, He Guoqi, Li Maosong. Orogenic Process of Western Tianshan Mountains in Paleozoic [J]. Earth Sciences, 1997, 22 (1): 27-32.

张连昌, 陈志广, 周新华, 等. 辽河盆地东部凹陷早第三纪火山岩地球化学及形成环境 [J]. 地球科学与环境学报, 2009, 31 (4): 368-375.

Zhang Lianchang, Chen Zhiguang, Zhou Xinhua, et al.

Geochemistry and the tectonic setting of early tertiary volcanic rocks in the east depression, Liaohe Basin [J]. Journal of Earth Sciences and Environment, 2009, 31 (4): 368-375.

杨高学, 李永军, 司国辉, 等. 东准噶尔卡拉麦里地区黄羊山岩体岩石学特征 [J]. 地球科学与环境学报, 2009, 31 (1): 34-41.

Yang Gaoxue, Li Yongjun, Si Guohui, et al. Petrological Characteristic of the Huangyangshan Intrusion in Kalamaili Area, East Junggar, Xinjiang [J]. Journal of Earth Sciences and Environment, 2009, 31 (1): 34-41.

王博, 舒良树, Cluzel D, 等. 新疆伊犁北部石炭纪火山岩地球化学特征及其地质意义 [J]. 中国地质, 2006, 33 (3): 498-508.

Wang Bo, Shu Liangshu, Cluzel D, et al. Geochemical characteristics and tectonic significance of Carboniferous volcanic rocks in the Northern part of the Ili Block, Xinjiang [J]. Geology in China, 2006, 33 (3): 498-508.

李锦轶, 王克卓, 李亚萍, 等. 天山山脉地貌特征—地壳组成与地质演化 [J]. 地质通报, 2006, 25 (8): 895-909.

Lu Jinyi, Wang Kezhao, Li Yaping, et al. Topographic Features and Crust Constituent and Geological Evolution of Tianshan Mountain Ranges [J]. Geological Bulletin of China, 2006, 25 (8): 895-909.

姜常义, 吴文奎, 谢广成, 等. 西天山北部石炭纪火山岩特征与沟弧盆体系 [J]. 岩石矿物学杂志, 1993, 12 (3): 224-231.

Jiang Changyi, Wu Wenkui, Xie Guangcheng, et al. Characteristics of Carboniferous Volcanic Rocks and the Trench-Arc Basin System in the Northern Part of West Tianshan Mountains [J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 1993, 12 (3): 224-231.

左国朝, 梁广林, 陈俊, 等. 东天山觉罗塔格地区夹白山一带晚古生代构造格局及演化 [J]. 地质通报, 2006, 23 (1-2): 48-57.

Zuo Guochao, Liang Guanglin, Chen Jun, et al. Tectonic Evolution of the Jiabaishan, Qoltag of Eastern Tianshan Mountains in the Upper Paleozoic [J]. Geological Bulletin of China, 2006, 23 (1-2): 48-57.

夏林圻, 张国伟, 夏祖春, 等. 天山古生代洋盆开启、关闭时限的岩石学约束—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 Zucun, et al. Petrologic Signs on Time Limit for the Open and Close of Paleozoic Oceanic Basin in Tianshan Mountains by Volcanics from Sinian and Carboniferous Period [J]. Geological Bulletin of China, 2002, 21 (2): 55-62.

胡能高, 王锐, 王晓霞, 等. 柴北缘塔塔格环斑花岗岩的矿物学特征及岩石学意义 [J]. 地球科学与环境学报, 2008, 30 (4): 337-345.

- Hu Nenggao, Wang Rui, Wang Xiaoxia, et al. Mineralogical Characteristics and Petrological Significance of the Tataleng Rapakivi Granite in the Northern Margin of Qaidam Basin[J]. Journal of Earth Sciences and Environment, 2008, 30 (4): 337-345.
- 黄喜峰, 钱壮志, 吴文奎, 等. 贺兰山小松山基性—超基性杂岩体岩石地球化学特征 [J]. 地球科学与环境学报, 2008, 30 (4): 351-356.
- Huang Xifeng, Qian Zhuangzhi, Wu Wenquan, et al. Lithochemical Characteristics of Basic-Ultrabasic Intrusion, Xiaosongshan, Helanshan [J]. Journal of Earth Sciences and Environment, 2008, 30 (4): 351-356.
- 朱志新, 王克卓, 徐达, 等. 依连哈比尔尕山石炭纪侵入岩锆石 SHRIMP U-Pb 测年及其地质意义[J]. 地质通报, 2006, 25 (8): 986-991.
- Zhu Zhixin, Wang Kezhao, Xu Da, et al. Shrimp U-Pb dating of zircons from Carboniferous intrusive rocks on the active continental margin of Eren Habirga, West Tianshan, Xinjiang, China and its geological implications [J]. Geological Bulletin of China, 2006, 25 (8): 986-991.
- 舒良树, 卢华夏, 印栋浩, 等. 新疆北部古生代大陆增生构造 [J]. 新疆地质, 2001, 19 (1): 59-63.
- Shu Liangshu, Lu Huaxia, Yin Donghao, et al. Late Paleozoic Continental Accretionary Tectonics In Northern Xinjiang [J]. Xinjiang Geology, 2001, 19 (1): 59-63.
- 夏林圻, 李向民, 夏祖春, 等. 天山石炭—二叠纪大火成岩省裂谷火山作用与地幔柱 [J]. 西北地质, 2006, 39 (1): 1-49.
- Xia Linqi, Li Xiangmin, Xia Zucun, et al. Rifting Volcanic Process and Mantle Plume of Major Igneous Rock Province During Carboniferous-Permian Period in Tianshan Mountains [J]. Northwestern Geology, 2006, 39 (1): 1-49.
- 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.
- Xinjiang Uygur Autonomous Region Bureau of Geology and Mineral Resources. Journal of Regional Geology in Xinjiang Uygur Autonomous Region [M]. Geology Publishing House, Beijing, 1993.
- 陈守建, 李荣社, 计文化, 等. 昆仑造山带石炭纪岩相特征及构造古地理 [J]. 地球科学与环境学报, 2008, 30 (3): 221-233.
- Chen Shoujian, Li Rongshe, Ji Wenhua, et al. Carboniferous Period Lithofacies Character and Tectono-Paleogeography in Kunlun Orogenic Belt [J]. Journal of Earth Sciences and Environment, 2008, 30 (3): 221-233.
- 杨高学, 李永军, 郭文杰, 等. 西天山阿吾拉勒阔尔库岩基解体的岩石化学证据 [J]. 地球科学与环境学报, 2008, 30 (2): 125-129.
- Yang Gaoxue, Li Yongjun, Guo Wenjie, et al. Petrochemical Evidence and Its Significance of Disintegration of Kuoerku Granite Batholith in Awulale, Western Tianshan [J]. Journal of Earth Sciences and Environment, 2008, 30 (2): 125-129.
- 地质矿产部区域地质矿产地质所. 火山岩地区区域地质调查方法指南 [M]. 北京: 地质出版社, 1987.
- Bureau of Regional Geological Survey and Mineral Exploration of Department of Geology and Mineral Resource. Guide for Regional Geological Survey in Volcanic Rock Area [M]. Geological Publishing House, Beijing, 1987.
- 邱家骧, 林景仟. 岩石化学 [M]. 北京: 地质出版社, 1991.
- Qiu Jiaxiang, Lin Jingqian. Petrochemistry [M]. Geological Publishing House, Beijing, 1991.
- 韩吟文, 马振东. 地球化学 [M]. 北京: 地质出版社, 2003.
- Han Yinwen, Ma Zhendong. Geochemistry [M]. Geological Publishing House, Beijing, 2003.
- 钱青, 高俊, 熊贤明, 等. 西天山昭苏北部石炭纪火山岩的岩石地球化学特征、成因及形成环境 [J]. 岩石学报, 2006, 22 (5): 1307-1323.
- Qian Qing, Gao Jun, Xiong Xianming, et al. Petrogenesis and tectonic settings of Carboniferous volcanic rocks from north Zhaosu, western Tianshan Mountains: constraints from petrology and geochemistry [J]. Acta Petrologica Sinica, 2006, 22 (5): 1307-1323.
- 苏春乾, 李勇, 赵欣, 等. 西秦岭礼县—武山杨河一带石炭纪地层的重新厘定 [J]. 地球科学与环境学报, 2009, 31 (2): 135-141.
- Su Chunqian, Li Yong, Zhao Xin, et al. Revision of the Carboniferous Strata in the Lixian-Yanghe (Wushan) Area, West Qinling [J]. Journal of Earth Sciences and Environment, 2009, 31 (2): 135-141.
- 梁志录, 王云斌, 刘宏伦, 等. 白银市乌金峡一带志留纪中酸性侵入岩特征及构造意义 [J]. 地球科学与环境学报, 2008, 30 (3): 240-248.
- Liang Zhilu, Wang Yunbin, Liu Honglun, et al. Characteristic and Tectonic Significance of Intermediate-Acid Intrusive Rock in Wujinxia Area of Baiyin City [J]. Journal of Earth Sciences and Environment, 2008, 30 (3): 240-248.
- 徐学义, 马中平, 夏林圻, 等. 北天山巴音沟蛇绿岩形成时代的精确厘定及意义 [J]. 地球科学与环境学报, 2005, 27 (2): 17-20.
- Xu Xueyi, Ma Zhongping, Xia Linqi, et al. Precise Measure of the Age for Bayingou Ophiolite in the North Tianshan Mountains and its Significance [J]. Geoscience and Environment, 2005, 27 (2): 17-20.
- 徐学义, 马中平, 夏祖春, 等. 北天山巴音沟蛇绿岩斜长花岗岩锆石 SHRIMP 测年及意义 [J]. 地质论评, 2005, 51 (5): 523-527.

Xu Xueyi, Ma Zhongping, Xia Zuchun, et al. The Zircon Shrimp Dating of the Ophiolite and plagiogranite in Bayigou, North Tianshan Mountains and its Significance[J]. Geological Review, 2005, 51 (5): 523–527.

徐学义, 李向民, 马中平, 等. 北天山巴音沟蛇绿岩形成于早石炭世: 来自辉长岩 LA-ICPMS 锆石 U-Pb 年龄的证

据[J]. 地质学报, 2006, 80 (8): 1168–1175.

Xu Xueyi, Li Xiangmin, Ma Zhongping, et al. The Zircon LA-ICPMS U-Pb Age Data of Gabbro and formation of the Early Carboniferous Bayingou Ophiolite in the North Tianshan Mountains [J]. Acta Geologica Sinica, 2006, 80 (8): 1168–1175.

Geochemistry of Upper Carboniferous Volcanics of Qianxia Formation in North Tianshan Mountains and Its Tectonic Significance

LIU Wen-bin¹, JU Gen-she², CUI Xiao-feng¹, DING Jian-guang¹,
ZHANG Ming-yun³, SONG Ying-wei²

(1. Henan Institute of Geological Survey, Zhengzhou 450001, Henan, China;

2. The Regional Geological Survey Party of Henan Provincial Bureau of Geo-exploration and Mineral Development, Zhengzhou 450001, Henan,

China; 3. The Second Geological and Mineral Survey Party of Henan

Provincial Bureau of Geo-exploration and Mineral Development,

Xuchang 461000, Henan, China)

Abstract: The Upper Carboniferous volcanics of Qianxia Formation are distributed at the north side of lower carboniferous ophiolite near Bayingou, which are mainly composed of pyroclastic rocks and interbedded lava and terrestrial clastic sedimentary rocks. According to the lithology and geochemistry, the volcanics are mainly andesite suite including trachyandesite, basaltic andesite, andesite and dacite, its Rittman index $\sigma = 1.20-3.43$, attached to calc-alkaline, and $\Sigma\text{REE} = 69.53 \times 10^{-6} - 111.32 \times 10^{-6}$, $\Sigma\text{Ce} / \Sigma\text{Y} = 1.12-2.25$, $(\text{La} / \text{Yb})_N = 1.86-5.39$, $\delta\text{Eu} = 0.79-1.21$, these data show that LREE are concentrated and europium depletion is not obvious. Moreover li elements such as K, Rb, Ba, and Th are rich in the rocks but the high field strength element (HFSE) such as Nb, Ta, Hf, Ti, and Y are depleted, of which the Nb content is almost $1.89 \times 10^{-6} - 2.65 \times 10^{-6}$, similar to the average value of Nb in oceanic crust which is 2.2×10^{-6} . The initial ratio of Sr is up to 0.704 15–0.704 19, almost equal to 0.704 37 belonging to basalt in the island-arc province, these features are associated with continental island-arc volcanics near benioff zone. In addition the subtidal-bathyal facies sedimentary and lower carboniferous ophiolite near Bayingou exist at the same period, all have been confirmed that the Qianxia Formation volcanics are products generated from lower carboniferous ophiolite near Bayingou when the oceanic crust are subducted into the continental mass northward in late carboniferous age in the convergence zone.

Key words: Qianxia Formation volcanics; geochemistry; continental island-arc; Upper Carboniferous; North Tianshan Mountains