

西天山伊犁山间坳陷二叠系乌郎组玄武岩 地球化学特征及构造环境判别

杨德敏¹, 刘陈明¹, 王明², 杜勇², 马伟¹, 唐娇¹, 刘德利¹

(1. 云南国土资源职业学院, 云南 昆明 650093; 2. 新疆维吾尔自治区地质矿产勘查
开发局第八地质大队, 新疆 阿克苏 843000)

摘要: 西天山二叠纪构造演化对哈萨克斯坦-准噶尔板块与塔里木-华北板块重建具有重要意义, 目前对该时期西天山构造环境认识存在争议。通过对新源县山口水电站东剖面乌郎组开展实测剖面研究发现, 剖面包含玄武岩-凝灰岩-砂岩等, 表现出溢流相-喷发相-沉积相组合, 具5个火山喷发韵律等, 表明该地区乌郎组形成于陆缘环境。通过对乌郎组玄武岩主量、微量、稀土元素进行分析发现, 样品里特曼指数(σ)为1.6~6.71, AR为1.28~1.97, 为钙碱-碱性准铝质玄武岩; ΣREE 为 $-88.21 \times 10^{-6} \sim 285.73 \times 10^{-6}$, LR/HR为3.31~6.49, 属轻稀土富集型玄武岩。 $(\text{Rb}/\text{Yb})_N$ 为3.04~4.61, Nb/Ta为20.70~40.83, Zr/Hf为16.09~64.58, 为受陆壳、火山弧影响交代地幔源残余玄武岩。通过Sm/Yb-Sm图解分析发现, 火山岩浆对应俯冲深度可能起源于上地幔120~150 km。据玄武岩源区特征判别岩浆物源为石榴石二辉橄榄岩带, 深度熔融。结合区域以往研究和Hf3-Th-Ta图解认为, 该地区乌郎组形成于陆缘岛弧环境。

关键词: 乌郎组; 玄武岩; 地球化学; 构造环境; 陆缘岛弧

西天山造山带构造演化是新疆北部古亚洲洋演化缩影, 二叠纪西天山构造演化对哈萨克斯坦-准噶尔板块与塔里木-华北板块重建具有重要意义^[1]。目前对该时期西天山构造环境认识存在争议, 在阿吾拉勒、巴音居里克、尼勒克、吾拉斯台、哈夏林场、阿拉山口、塔尔得套、加特满等地区研究认为乌郎组形成于板内伸展(裂谷)环境^[2-5]; 孟令华等对卓勒萨依一带流纹岩、安山岩元素地球化学特征和构造环境研究认为, 卓勒萨依一带乌郎组形成于陆缘岛弧型环境^[6]; 叶海敏对尼勒克地区玄武质安山岩研究认为, 该地区乌郎组大规模火山岩喷溢是二叠纪塔里木地幔柱作用结果^[7]。本文对新源县山口水电站东剖面乌郎组玄武岩开展实测剖面及地球化学研究, 据岩石学特征、地球化学特征对该地区玄武岩构造环境进行判别, 为该地区构造演化提供依据。

1 区域背景

研究区处于天山-兴蒙造山系(I)哈萨克斯坦-伊犁地块(I-3)伊宁-中天山微地块(I-3-2)伊犁山间坳陷(I-3-2-8)(图1-a)^[8]。该区出露下二叠统乌郎组一段安山岩(岩浆锆石谐和年龄 (290.6 ± 0.86) Ma, 平均 (290.6 ± 1.6) Ma)和玄武岩、下二叠统乌郎组二段玄武岩(岩浆锆石谐和年龄 (292.5 ± 1.9) Ma, 平均 (293.2 ± 3.7) Ma^①、上二叠统晓山萨依组一段砾岩、古渐新统一中新统沙湾组细砂岩(图1-b)^②; 发育近NS向F₁断裂; 岩浆活动有二叠纪早期安山岩、玄武岩喷发活动(图1-b)^③。研究区晚古生代构造演化主要包括石炭纪早期, 南天山洋壳板块向哈萨克斯坦-准噶尔板块之下俯冲, 在伊犁盆地内形成大哈拉军山组岛弧型沉积; 石炭纪晚期伊犁运动结束岛弧环境, 造成

项目资助: 云南省教育厅科学研究基金项目(2018JJ569)、新疆西天山1:5万K44E004019、K44E004020、K44E005020三幅区域地质矿产调查项目(T15-1-LQ05)共同资助

收稿日期: 2022-11-23; **修订日期:** 2023-02-21

第一作者简介: 杨德敏(1987-), 男, 云南文山山人, 硕士, 2017年毕业于昆明理工大学矿物学、岩石学、矿床学专业, 现从事成矿规律与成矿预测; **E-mail:** 28924210@qq.com

通讯作者: 刘陈明(1984-), 男, 湖北红安人, 硕士, 主要从事教学、科研工作, 研究方向为成矿规律与成矿预测、地幔柱、撞击构造-岩浆活动; **E-mail:** xiao6yu2000@aliyun.com

① 新疆地矿局第八地质大队. 新疆西天山1:5万(K44E004019、K44E004020、K44E005020)区域地质调查报告, 2008

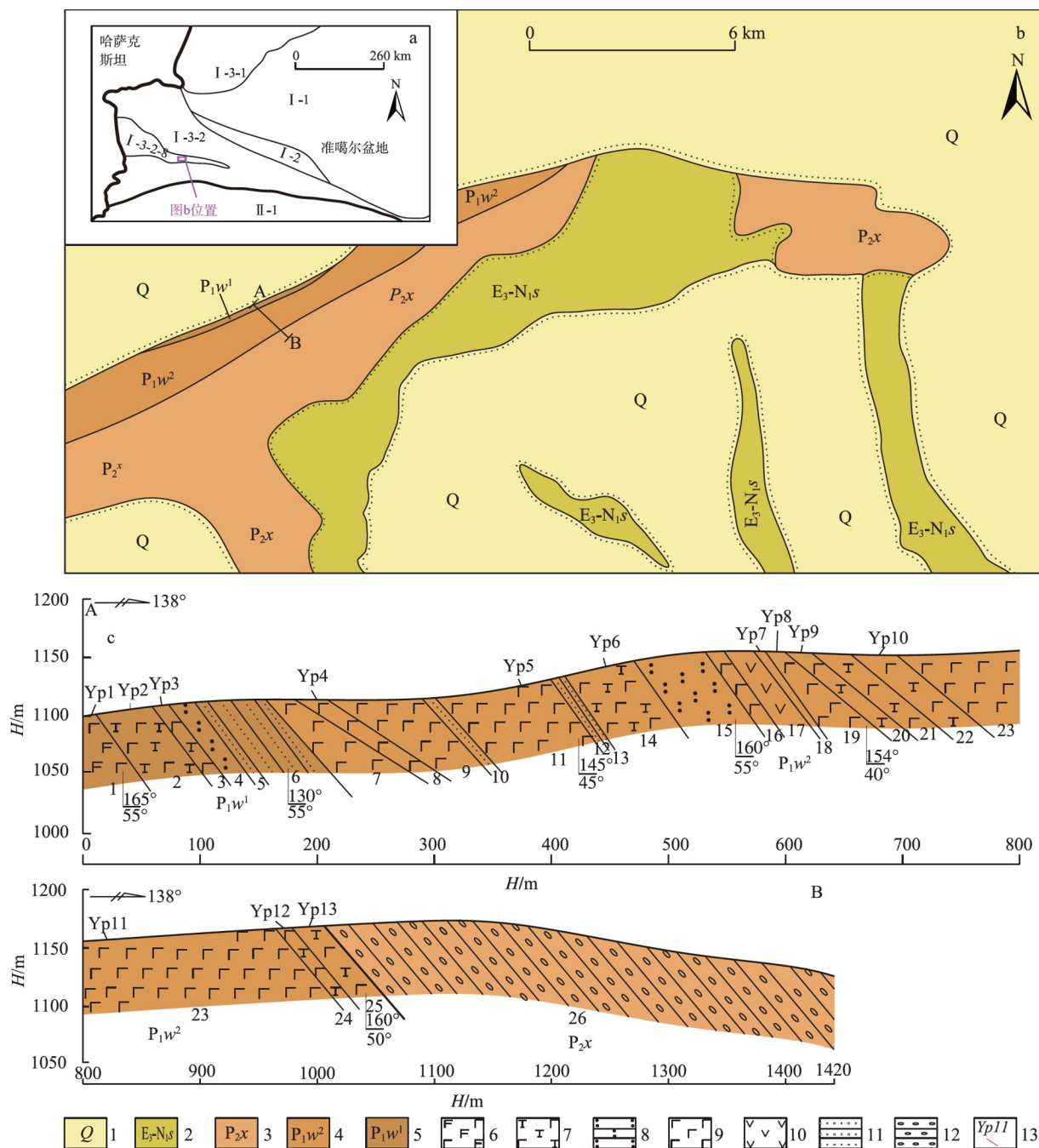


图1 研究区大地构造位置(a)、区域地质图(b)、实测剖面图(c)

Fig.1 Geotectonic location(a),Regional geological map (b) and measured profile of the study area (c)

(a——据冯京修改, 2022; b——据新疆地矿局第八地质大队修改, 2018)

1.第四系;2.渐新—中新统沙湾组;3.下二叠统晓山萨依组;4.下二叠统乌郎组二段;5.下二叠统乌郎组一段;6.长石玄武岩;

7. 橄辉玄武岩;8. 凝灰岩;9. 玄武岩;10. 安山岩;11. 砂岩;12. 砾岩;13. 样品编号

I——天山-兴蒙造山系; I-1——阿尔泰-东准噶尔增生造山带; I-2——科克森套-康古尔叠接带; I-3——哈萨克斯坦-伊犁地块;

I-3-1——西准噶尔古生代多岛弧盆系; I-3-2——伊宁-中天山微地块; I-3-2-8——伊利山间拗陷

阿克沙克组残余海沉积不整合于大哈拉军山组之上;早二叠世地壳整体为挤压环境,为后碰撞演化阶段;晚二叠世新源运动导致造山带上升转入陆内

演化,形成晓山萨依组河湖相碎屑岩沉积,造成三叠系丢失^[8-10] ①。

① 新疆地矿局第八地质大队. 新疆西天山1:5万(K44E004019、K44E004020、K44E005020)区域地质调查报告,2008

2 剖面地质特征

实测剖面位于新源县山口水电站东部,长1420 m,分为下二叠统乌郎组和上二叠统晓山萨依组,乌郎组分为一段和二段。整个剖面细分为26层,其中1~3层溢流相玄武岩、4层爆发相凝灰岩、5~6层沉积相砂岩构成第一韵律层,第一韵律组成下统乌郎组一段;7~9层溢流相玄武岩、10层沉积相砂岩构成第二韵律;11层溢流相玄武岩、12~13层沉积相砂岩构成第三韵律;14层溢流相玄武岩、15层爆发相凝灰岩构成第四韵律;16~25层溢流相玄武岩构成第五韵律,第二至第五韵律组成乌郎组二段;26层砾岩组成上二叠统晓山萨依组(表1)。剖面上,火山岩喷发韵律表现出韵律间有一相对短暂的

缓冲期,陆源碎屑得以沉积,火山活动由早到晚活跃程度增强,爆发相火山凝灰岩层少,厚度小,表明该剖面处于火山机构较远的溢流区;二叠系乌郎组火山岩喷发结束后火山活动趋于平静。综合区域研究和剖面火山岩喷发韵律特征,该地区二叠系乌郎组火山岩为陆相火山岩建造。

3 样品采集和测试分析

本次采取样品13件,其中乌郎组一段玄武岩样品3件(编号Yp1~Yp3),乌郎组二段玄武岩样品10件(编号Yp4~Yp13),采样位置见图1-c。样品前期处理及测试均在国土资源部乌鲁木齐矿产资源监督检查中心完成,样品分析结果见表2,3,4。

表1 清源县山口水电站乌郎组火山岩喷发韵律
Table 1 Volcanic rock eruption rhythm of Wulang Formation of Shankou hydropower station in Qingyuan

界系	统组段	代号	层位	岩性	厚度/m	岩相	韵律
晚古生界 二叠系	上统晓山萨依组	P ₂ x	26	灰紫色中-厚层状砾岩	大于342.27		
			25	褐铁矿化褐紫色橄榄玄武岩	11.26		
			24	褐紫色杏仁状橄榄玄武岩	13.23		
			23	灰紫色玄武岩	219.78		
			22	灰紫色橄榄玄武岩	31.96		
			21	强葡萄石化灰紫色杏仁状橄榄玄武岩	26.25	溢流相	第五韵律
			20	褐紫色橄榄玄武岩	18.42		
			19	灰紫色杏仁状玄武岩	12.91		
			18	灰紫色杏仁状橄榄玄武岩	7.83		
			17	灰紫色杏仁状玄武安山岩	20.74		
	下统乌郎组二段	P ₁ w ²	16	黑绿色杏仁状玄武岩	12.07		
			15	紫红色含角砾晶屑岩屑凝灰岩	47.63	爆发相	第四韵律
			14	灰褐色杏仁状橄榄玄武岩	46.57	溢流相	
			13	深灰色凝灰质细砂岩	4.02	沉积相	第三韵律
			12	紫红色中细粒凝灰质砂岩	5.72		
			11	浅紫红色杏仁状玄武岩	77.26	溢流相	
			10	紫红色中-细粒凝灰质长石岩屑砂岩	8.89	沉积相	
			9	灰紫色杏仁状玄武岩	63.50	溢流相	第二韵律
			8	黑紫色杏仁状玄武岩	22.01		
			7	灰紫色杏仁状玄武岩	20.32		
			6	紫红色凝灰质中粒砂岩	38.74	沉积相	
			5	紫红色中-细粒凝灰质长石岩屑砂岩	8.68		
			4	紫红色含砾晶屑岩屑凝灰岩	17.36	爆发相	第一韵律
			3	深灰绿色杏仁状橄榄玄武岩	11.22		
			2	碳酸盐化灰紫色杏仁状橄榄玄武岩	37.68	溢流相	
			1	碳酸盐化灰紫色中长石玄武岩	大于8.89		

表2 玄武岩样品主量元素分析结果表

Table 2 Analysis results of major elements of basalt samples

单位: %

样品编号	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	Cr ₂ O ₃	CO ₂	H ₂ O ⁺
Yp1	47.09	1.31	15.11	11.71	3.86	0.24	2.97	9.92	4.24	0.98	0.31	0.02	2.84	0.20
Yp2	53.76	1.27	15.16	9.87	2.73	0.21	2.65	7.23	4.47	1.21	0.31	0.01	0.75	0.24
Yp3	47.61	1.32	13.72	8.72	1.72	0.16	1.64	7.00	6.39	0.40	0.34	0.01	2.87	0.16
Yp4	46.68	1.51	16.51	11.40	3.99	0.20	7.14	9.50	2.55	0.70	0.48	0.04	0.20	1.40
Yp5	45.31	1.91	16.12	12.31	4.89	0.23	7.48	8.15	3.16	0.50	0.38	0.03	0.59	1.40
Yp6	46.93	1.90	15.71	10.94	4.32	0.26	7.89	7.25	3.77	0.99	0.50	0.02	0.51	0.69
Yp7	49.65	1.06	16.17	8.06	4.06	0.11	3.65	9.53	2.91	0.26	0.16	0.02	5.70	0.57
Yp8	45.64	1.72	16.03	12.42	2.44	0.14	7.57	9.09	2.73	0.50	0.47	0.04	0.52	1.97
Yp9	46.95	1.60	16.87	11.30	2.96	0.23	6.59	7.90	3.42	1.36	0.62	0.01	0.17	0.54
Yp10	45.46	1.43	16.52	11.35	2.60	0.15	8.22	9.04	2.82	0.40	0.23	0.04	0.46	1.80
Yp11	46.44	1.46	16.21	11.02	2.50	0.18	8.57	6.83	3.50	0.97	0.49	0.04	0.31	1.02
Yp12	44.74	1.28	15.98	10.10	1.80	0.16	4.90	11.60	3.72	0.47	0.40	0.02	3.20	0.71
Yp13	45.34	1.43	16.08	11.38	0.82	0.19	6.40	7.73	4.27	0.15	0.44	0.02	1.34	1.32

表3 玄武岩样品稀土元素分析结果表

Table 3 Analysis Results of Rare Earth Element of Basalt Samples

单位: $\times 10^{-6}$

样品编号	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Y
Yp1	41.20	81.3	13.60	56.4	10.80	3.39	11.1	1.55	8	1.53	4.35	0.62	4.06	0.63	47.2
Yp2	26.40	55.4	8.09	35.6	7.28	2.34	7.76	1.23	6.33	1.19	3.75	0.53	3.23	0.52	35.0
Yp3	8.94	32.4	5.34	27.7	7.01	2.33	6.78	1.16	6.58	1.27	3.68	0.57	3.66	0.54	36.4
Yp4	20.20	43.1	5.99	26.2	5.60	1.90	5.24	0.88	5.11	0.98	2.88	0.44	2.84	0.42	25.8
Yp5	13.50	29.8	4.60	22.1	5.23	1.87	5.30	0.95	5.58	1.06	3.17	0.52	3.25	0.48	28.4
Yp6	19.20	41.2	6.17	28.3	5.70	1.93	5.56	0.93	5.10	0.98	3.04	0.45	2.84	0.44	26.2
Yp7	10.80	21.2	3.15	14.5	3.38	1.10	3.61	0.65	3.75	0.74	2.33	0.37	2.37	0.36	19.9
Yp8	15.50	33.1	5.13	23.6	5.19	1.99	5.38	0.91	5.23	0.98	2.94	0.45	2.92	0.45	25.6
Yp9	25.60	54.6	7.74	33.0	6.41	2.08	6.06	0.96	5.24	1.00	3.02	0.45	2.83	0.44	26.0
Yp10	8.48	19.7	3.38	16.1	3.90	1.60	4.16	0.74	4.30	0.87	2.73	0.41	2.45	0.42	22.6
Yp11	18.00	38.4	5.79	24.7	5.25	1.83	5.40	0.83	4.60	0.93	2.81	0.41	2.57	0.41	24.2
Yp12	18.80	39.2	5.49	24	5.05	1.66	4.98	0.86	4.79	0.93	2.72	0.41	2.66	0.40	23.6
Yp13	18.90	40.3	5.94	25.3	5.43	1.93	5.77	0.92	5.15	1.04	3.15	0.46	2.92	0.49	27.2

4 地球化学特征

4.1 主量元素特征

玄武岩样品 SiO₂ 含量 45.31%~53.76%, 为基性 (除 Yp2), Fe₂O₃, K₂O 偏高, FeO, Na₂O 偏低 (表 2)。里特曼指数 (σ) 1.6~6.71, AR 为 1.28~1.97, A/NK 为 1.25~3.33, A/CNK (除 Yp11) 为 0.78~0.94, DI 为 25.63~61.59, SI 为 8.90~33.28 (表 6), 属钙碱性-碱性准铝质结晶分异程度高岩浆岩。通过 F₁-F₂ 图解可知 (图 2-d), 所有玄武岩样品均为钙碱性玄武岩-岛弧拉斑玄武岩; 通过 F₂-F₃ 图解可知 (图 2-d), Yp2, Yp9 为钙碱性玄武岩, Yp3, Yp10, Yp11, Yp13

为洋中脊玄武岩, Yp1, Yp4~Yp8, Yp12 均为拉斑玄武岩。据 K₂O、SiO₂ 含量与喷发深度得出 (图 3-b), 火山岩浆可能起源于上地幔 120~150 km, 结合玄武岩形成构造环境分类认为, 研究区乌郎组玄武岩为板块边缘火山弧玄武岩。

4.2 稀土元素特征

玄武岩样品 Σ REE 为 88.21×10^{-6} ~ 285.73×10^{-6} , LREE 为 53.16×10^{-6} ~ 206.69×10^{-6} , HREE 为 14.18×10^{-6} ~ 31.84×10^{-6} , LR/HR 为 3.31~6.49, 为轻稀土分馏明显轻稀土富集型; δ Eu 为 0.94~1.21 弱正异常, 含钙造岩矿物未发生迁移聚集; $(Ce/Yb)_N$ 为 8.04~20.02, 岩浆分离结晶程度高 (表 3, 图 2-b); δ Ce

表4 玄武岩样品微量元素分析结果表
Table 4 Analysis Results of Trace Elements of Basalt Samples

样品编号	Rb	Th	Ta	Nb	La	Ce	Sr	Zr	Hf	Yb	V	Cr	B	F
Yp1	66.6	6.90	0.68	15.2	49.7	131.0	316	287	17.84	4.1	195	48.26	28.73	7 330
Yp2	80.3	6.10	0.66	15.0	32.5	59.6	380	310	4.80	3.6	189	45.86	39.33	1 310
Yp3	41.4	1.10	0.36	14.7	5.5	22.4	1 252	284	6.70	3.8	180	41.80	16.86	1 201
Yp4	16.2	2.25	0.47	12.2	23.0	45.2	472	147	3.20	2.8	251	213.00	8.18	664
Yp5	14.5	2.70	0.44	11.1	19.8	41.7	414	170	3.59	3.3	264	170.00	13.54	520
Yp6	37.8	2.20	0.51	11.7	23.7	50.4	752	166	3.68	3.2	262	106.00	20.29	1 006
Yp7	11.5	3.30	0.43	8.9	14.9	29.3	306	131	3.18	2.7	184	108.00	5.57	372
Yp8	11.9	1.60	0.42	10.4	19.2	39.3	506	160	3.33	3.0	239	160.00	7.19	415
Yp9	38.8	2.40	0.60	12.7	28.3	57.2	788	176	3.88	3.1	264	36.56	16.42	801
Yp10	12.7	0.51	0.22	7.9	9.5	21.5	475	120	2.71	2.6	241	192.00	14.99	274
Yp11	22.5	1.90	0.47	11.2	22.5	45.0	658	158	3.49	2.9	241	205.00	7.59	535
Yp12	21.3	2.40	0.53	11.8	22.8	44.7	278	145	3.24	2.9	231	141.00	44.12	728
Yp13	9.4	1.40	0.51	12.9	21.0	42.4	229	157	3.44	2.8	223	126.00	47.24	762

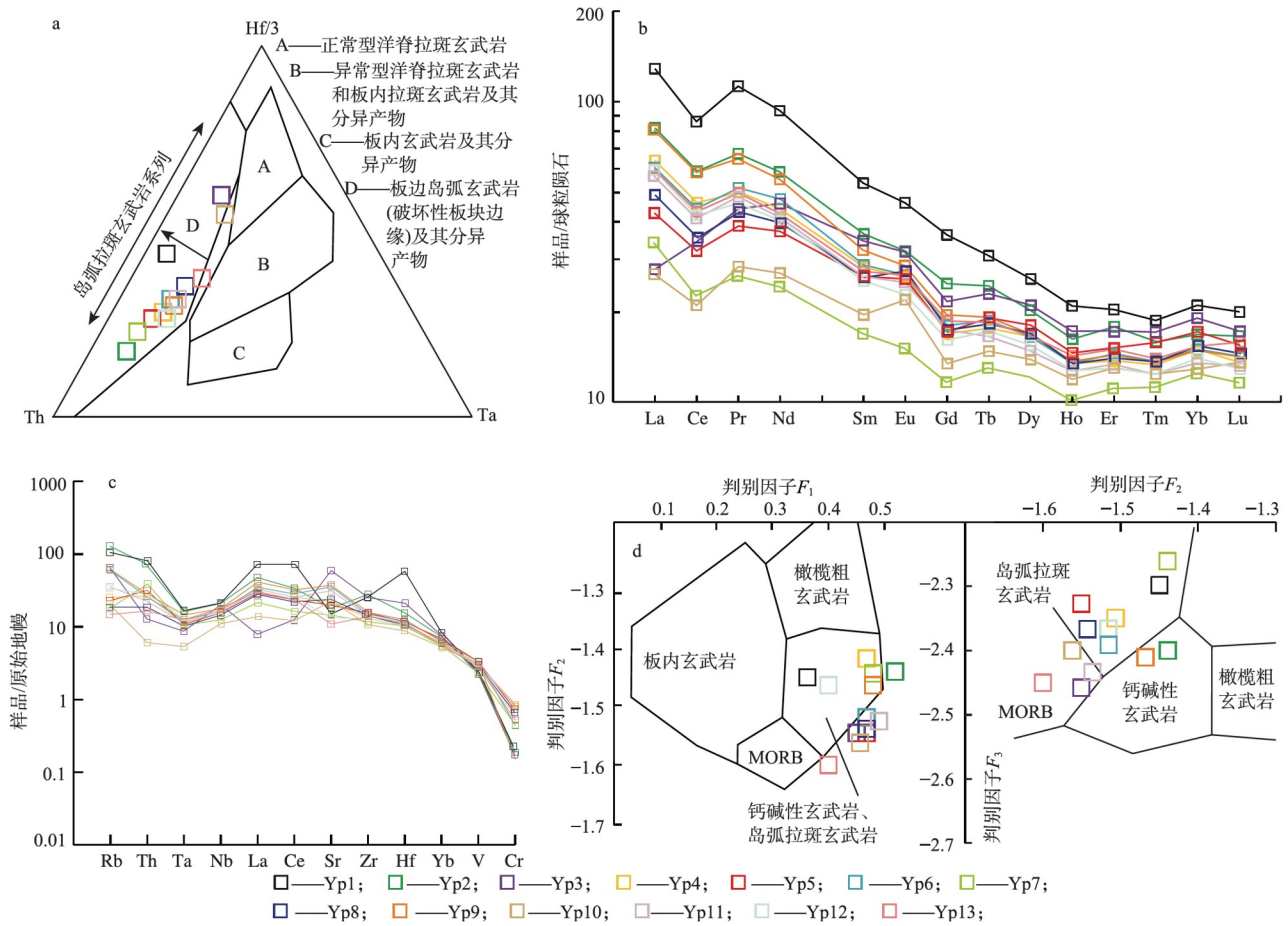


图2 Hf/3-Th-Ta图(a)、稀土元素球粒陨石标准化分布图(b)、微量元素原始地幔标准化分布图(c)、玄武岩 F_2 - F_1 和 F_3 - F_2 判别图(d)

Fig.2 Diagram of Hf/3-Th-Ta(a), normalized model diagram of rare earth element chondrite (b), normalized model diagram of trace element primitive mantle (c), basalt F_2 - F_1 and F_3 - F_2 (d)

(a——据参考文献[11]修改, 1980; b, c——据参考文献[12]修改, d——据参考文献[13]修改)

为0.82~1.10弱正异常,表明岩浆活动过程中有不同程度的海水参与,环境为弱还原环境。通过Sm/Yb-Sm图解可知(图3-a),玄武岩样品落入石榴石二辉据研究玄武岩样品稀土元素地球化学特征认为,研究区乌郎组玄武岩形成环境为陆缘岛弧。

4.3 微量元素特征

玄武岩样品微量元素显示(表4, 5, 图2-c),原始地幔标准化模式曲线右倾,其中Rb, Th, Nb, La, Ce, Hf元素富集, Ta, Sr, Zr, Yb, V, Cr亏损,为强不相容元素富集型; $(Rb/Yb)_N$ 为3.04~4.61,为

交代地幔源分离结晶程度强的残余岩浆;Nb/Ta为20.70~40.83,高于原始地幔;Zr/Hf为16.09~64.58,接近原始地幔,说明岩浆受陆壳、火山弧玄武岩影响。通过Th-Ta-Hf/3图解可知(图2-a)^[10],除Yp3, Yp10为拉斑玄武岩外,其余均为岛弧玄武岩。据玄武岩样品微量元素地球化学特征认为,研究区乌郎组玄武岩形成环境为陆缘岛弧带。

5 构造环境判别

研究区区域晚古生代构造演化主要为石炭世早

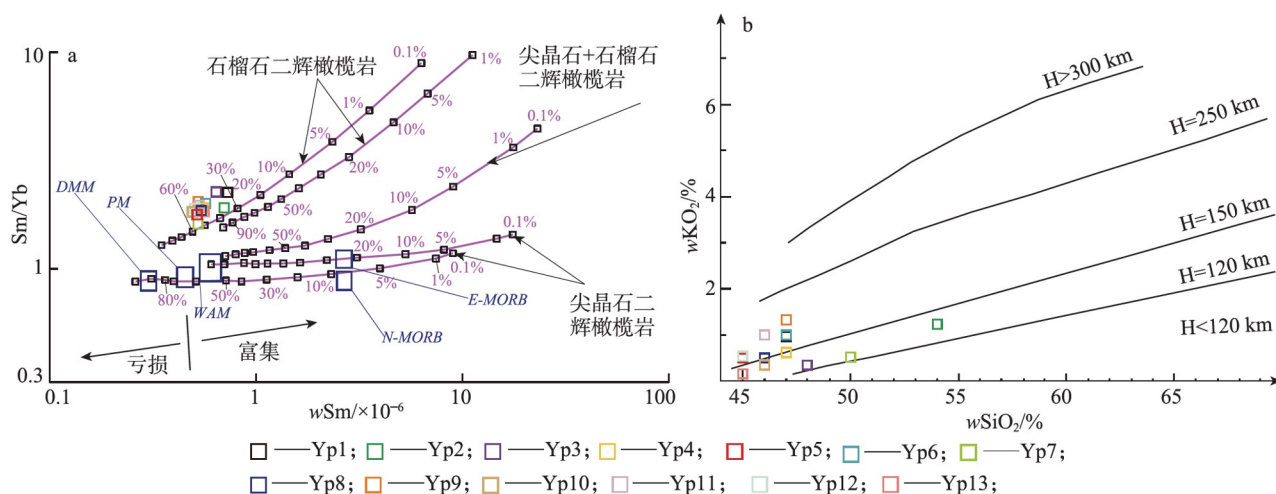


图3 玄武岩源区特征判别图(a)、玄武岩 K_2O 、 SiO_2 含量与喷发深度关系图(b)

Fig.3 Characteristic discrimination diagram of basalt source area (d), relation diagram of K_2O , SiO_2 and eruption depth (b)

(a——据参考文献[14]; b——据参考文献[15])

DMM——亏损地幔;PM——原始地幔;WAM——西安纳托利亚地幔;N-MORB——正常型洋脊玄武岩;E-MORB——异常洋脊玄武岩

表5 玄武岩样品稀土元素含量分析结果表

Table 5 Characteristics of rare earth elements in basalt samples

	ΣREE	LREE	HREE	LR/HR	Gd-Y	LR/Gd-Y	δEu	δCe	La/Sm	La/Yb	Ce/Yb	Eu/Sm	Sm/Nd	(La/Yb) _N	(Ce/Yb) _N	(Sm/Eu) _N	$\Sigma Er-Lu$	$\Sigma Sm-Ho$	$\Sigma La-Nd$
Yp1	285.73	206.69	31.84	6.49	79.04	2.62	0.94	0.82	3.81	10.15	20.02	0.31	0.19	6.84	5.18	1.20	4	15	81
Yp2	194.65	135.11	24.54	5.51	59.54	2.27	0.95	0.91	3.63	8.17	17.15	0.32	0.2	5.51	4.44	1.17	5	16	79
Yp3	144.36	83.72	24.24	3.45	60.64	1.38	1.02	1.10	1.28	2.44	8.85	0.33	0.25	1.65	2.29	1.13	8	23	69
Yp4	147.60	103.00	18.79	5.48	44.59	2.31	1.06	0.93	3.61	7.11	15.18	0.34	0.21	4.79	3.92	1.11	5	16	79
Yp5	125.80	77.100	20.31	3.80	48.71	1.58	1.08	0.91	2.58	4.15	9.17	0.36	0.24	2.80	2.37	1.05	8	21	71
Yp6	121.84	102.50	19.34	5.30	45.54	2.25	1.17	0.89	3.37	6.76	14.51	0.34	0.20	3.77	3.54	1.21	7	20	94
Yp7	88.21	54.13	14.18	3.82	34.08	1.59	0.96	0.87	3.20	4.56	8.95	0.33	0.23	3.07	2.31	1.16	8	19	73
Yp8	129.40	84.51	19.26	4.39	44.86	1.88	1.14	0.89	2.99	5.31	11.34	0.38	0.22	3.58	2.93	0.98	7	19	74
Yp9	175.40	129.40	20.00	6.47	46.00	2.81	1.01	0.93	3.99	9.05	19.29	0.32	0.19	6.10	4.99	1.16	5	15	80
Yp10	91.84	53.16	16.08	3.31	38.68	1.37	1.21	0.89	2.17	3.46	8.04	0.41	0.24	2.33	2.08	0.92	9	22	69
Yp11	136.10	93.97	17.96	5.23	42.16	2.23	1.04	0.90	3.43	7.00	14.94	0.35	0.21	4.72	3.86	1.08	6	17	77
Yp12	135.60	94.20	17.75	5.31	41.35	2.28	1.00	0.92	3.72	7.07	14.74	0.33	0.21	4.76	3.81	1.15	6	16	78
Yp13	144.90	97.80	19.90	4.91	47.10	2.08	1.05	0.91	3.48	6.47	13.80	0.36	0.21	4.36	3.57	1.06	6	17	77

注:稀土元素含量单位: $\times 10^{-6}$

表6 玄武岩样品CIPW标准矿物及含量表
Table 6 CIPW standard minerals and content of basalt samples

单位: $\times 10^{-6}$

参数\样品号	Yp1	Yp2	Yp3	Yp4	Yp5	Yp6	Yp7	Yp8	Yp9	Yp10	Yp11	Yp12	Yp13
石英(Q)	/	5.89	/	/	/	/	17.5	/	/	/	/	/	/
钙长石(An)	19.20	17.80	8.28	31.40	28.20	22.90	10.20	30.40	26.80	31.80	26.20	26.00	25.50
钠长石(Ab)	35.8	38.1	59.0	21.5	26.6	31.7	24.3	23.4	29.0	24.3	30.2	32.1	38.0
钾长石(Or)	5.79	7.21	2.58	4.12	2.94	5.82	1.52	3.00	8.08	2.41	5.85	2.84	0.93
刚玉(C)	/	/	/	/	/	/	7.25	/	/	/	/	/	/
透辉石(Di)	8.40	9.61	6.57	9.24	4.91	5.40	/	7.34	6.26	7.73	2.7	7.76	2.40
紫苏辉石(Hy)	9.55	8.91	3.63	14.2	8.72	3.53	18.0	14.4	2.98	9.16	6.45	6.46	7.30
橄榄石(Ol)	4.30	0	3.44	9.32	17.80	21.80	/	10.50	19.00	15.80	21.20	10.00	14.40
钛铁矿(Il)	2.49	2.43	2.74	2.86	3.61	3.59	1.99	3.31	3.06	2.77	2.83	2.49	2.86
磁铁矿(Mt)	8.30	7.45	6.63	7.20	8.13	7.89	5.86	6.90	7.40	6.50	6.93	5.86	6.27
磷灰石(Ap)	0.72	0.72	0.86	1.11	0.88	1.16	0.37	1.11	1.45	0.54	1.16	0.95	1.07
锆石(Zr)	0.06	0.06	0.06	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.04	0.02	0.03	0.03	0.03
铬铁矿(Cm)	0.01	0.01	0.01	0.05	0.04	0.02	0.02	0.03	0.01	0.04	0.05	0.03	0.03
方解石(Cc)	6.46	1.72	7.16	0.45	1.34	1.16	12.80	1.20	0.39	1.07	0.72	7.45	3.21
合计	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
碱性长石(A)	10.40	13.60	10.50	5.45	4.26	9.39	3.21	4.10	11.80	3.30	8.89	4.50	1.62
斜长石(Pl)	70.5	49.5	82.4	62.3	65.4	66.5	32.8	63.3	68.7	64.4	67.2	71.9	74.1
斜长石牌号(An/%)	33.65	30.64	11.66	57.94	49.96	40.48	28.28	55.04	46.48	55.23	44.95	43.31	38.76
分异指数(DI)	41.6	51.2	61.5	25.6	29.5	37.5	43.4	26.4	37.1	26.7	36.0	35.0	39.0
颜色指数(CI)	31.8	28.4	22.0	41.3	39.9	37.2	25.8	40.7	34.1	39.7	35.8	30.4	31.1
SI	12.8	12.9	8.9	28.4	27.0	28.8	19.6	30.4	26.3	33.2	33.0	24.0	28.7
Mg'	0.48	0.55	0.50	0.67	0.66	0.73	0.57	0.70	0.70	0.72	0.76	0.66	0.72
A/NK	1.88	1.75	1.25	3.33	2.81	2.16	3.19	3.19	2.38	3.26	2.38	2.41	2.24
A/CNK	0.80	0.78	0.84	0.80	0.88	0.86	1.83	0.83	0.86	0.83	0.93	0.82	0.94
AR	1.53	1.68	1.97	1.29	1.36	1.52	1.28	1.30	1.48	1.29	1.48	1.36	1.46
σ_{43}	6.71	2.93	6.13	2.98	6.32	6.10	1.60	3.27	5.50	3.22	4.73	6.70	4.55
R1	1 224	1 562	731	1 870	1 582	1 363	2 062	1 817	1 434	1 821	1 499	1 449	1 400
R2	1 506	1 214	1 209	1 692	1 555	1 472	1 505	1 690	1 517	1 736	1 509	1 840	1 540
F1	0.44	0.52	0.45	0.47	0.47	0.47	0.48	0.46	0.48	0.46	0.49	0.40	0.46
F2	-1.45	-1.44	-1.55	-1.51	-1.55	-1.52	-1.44	-1.54	-1.47	-1.57	-1.53	-1.52	-1.6
F3	-2.29	-2.40	-2.46	-2.35	-2.33	-2.39	-2.26	-2.37	-2.41	-2.4	-2.43	-2.37	-2.45

期南天山洋壳板块向哈萨克斯坦-准噶尔板块之下俯冲,石炭世晚期伊犁运动西天山洋盆关闭,早二叠世进入后碰撞演化阶段,晚二叠世,新源运动导致造山带抬升^[8-10]。剖面火山岩喷发韵律为喷发韵律间有短暂缓冲-陆源碎屑沉积,剖面处于距火山机构较远的溢流区,该区二叠系乌郎组火山岩喷发结束后火山活动趋向平静。主量元素地球化学特征研究发现,研究样品为钙碱性-碱性准铝质结晶分异程度高的钙碱性玄武岩和拉斑玄武岩,火山岩浆可能起源于上地幔 120~150 km;稀土元素地球化学特征研

究发现,岩浆活动过程中有不同程度的海水参与,为弱还原环境,物源为石榴石二辉橄榄岩带,深程度熔融;微量元素地球化学特征研究发现,样品多为岛弧玄武岩。结合区域大地构造演化、研究剖面岩石学和喷发韵律特征、地球化学特征等综合认为,研究区二叠系乌郎组玄武岩形成构造环境为陆缘岛弧环境。

6 结论

(1) 乌郎组火山岩喷发韵律表现为从早到晚活跃程度增强,喷发韵律间存在短暂的缓冲期-陆源碎

① 新疆地矿局第八地质大队. 新疆西天山1:5万(K44E004019、K44E004020、K44E005020)区域地质调查报告,2008

屑沉积,二叠系乌郎组火山岩喷发结束后火山活动趋向平静。

(2) 乌郎组玄武岩属钙碱性玄武岩-岛弧拉斑玄武岩,火山岩浆可能起源于上地幔 120~150 km;其轻稀土分馏明显富集,源区可能是石榴石二辉橄榄岩发生深程度熔融。

(3) 剖面二叠系乌郎组玄武岩形成构造环境为陆缘岛弧环境。

参 考 文 献

- [1] 朱志新,董连慧,刘淑聪,等.新疆西天山伊犁地块晚古生代火山岩地质特征及构造意义[J].新疆地质,2012,30(3):258-263.
- [2] 贡杰,孙吉明,朱小辉,等.新疆博乐哈夏林场一带下二叠统乌郎组火山岩地球化学特征及地质意义[J].地质科技情报,2017,36(3):71-81.
- [3] 尹得功,弓小平,韩琼,等.新疆新源县巴音居里克一带下—中二叠统乌郎组火山岩特征及地质意义[J].西北地质,2015,48(1):16-25.
- [4] 潘明臣,于海峰,王福君,等.新疆博乐地区下二叠统乌郎组火山岩特征与构造环境分析[J].地质与资源,2011,20(3):226-230.
- [5] 赵军,张作衡,张贺,等.新疆阿吾拉勒山西段下二叠统陆相火山岩岩石地球化学特征、成因及构造背景[J].地质学报,2013,87(4):525-541.
- [6] 孟令华,张树淇,吴树明,等.新疆温泉县卓勒萨依一带乌郎组火山岩锆石U-Pb年龄、地球化学特征及其构造意义[J].科学技术与工程,2019,19(5):35-46.
- [7] 叶海敏,叶现韬,张传林.新疆西天山尼勒克二叠纪火山岩的地球化学特征及构造意义[J].岩石学报,2013,29(10):3389-3401.
- [8] 冯京,朱志新,赵同阳,等.新疆大地构造单元划分及成矿作用[J/OL].中国地质:1-25[2022-08-08].http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1167.P.20220314.2009.010.html.
- [9] 王宗秀,李春麟,Pak Nikolai,等.鄯善利.西天山造山带构造单元划分及古生代洋陆转换过程[J].中国地质,2017,44(4):623-641.
- [10] 李鸿,周继兵,胡克亮,等.西天山阿吾拉勒地区下二叠统乌郎组火山岩地球化学特征及构造环境[J].新疆地质,2011,29(4):381-384.
- [11] Wood DA.The nature of a Th-Hf-Ta diagram to problems of tecton magmatic classification an to establishing the nature of crustal contamination of basaltic lavas of the British Tertiary volcanic province[J].Earth Planet,1980,50,11-30.
- [12] Sun S,McDonough WF.Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes[J].Geological Society, London, Special Publications, 1989,42(1):313-345.
- [13] Pearce J A. Statistical analysis of major element patterns in basalts.[J].Petro.1976,(17):15-43.
- [14] Aldanmaz E,Pearce JA,Thirlwall MF.et al.Petrogenetic evolution of late Cenozoic, post-collision volcanism in western Anatolia, Turkey[J].Journal of Volcanology and Geothermal Research, 2000,102(1-2):67-95.
- [15] Condie KC.Geochemical changes in baslts and andesites across the Archean-Proterozoic boundary: Identification and significance[J].Lithos, 1989,23(1-2):1-18.

Geochemical Characteristics and Tectonic Setting of the Basalt of Permian Wulang Formation in the Yili Intermountain Depression, Western Tianshan

Yang Demin¹, Liu Chenming¹, Wang Ming², Du Yong², Ma Wei¹, Tang Jiao¹, Liu Deli¹

(1.Yunnan Vocational College of Land and Resources, Kunming, Yunnan, 650093, China;2.No.8 Geological Team, Xingjiang Geology and Mineral Resources Development Bureau, Aksu, Xingjiang, 843000, China)

Abstract: The Permian tectonic evolution of the Western Tianshan Mountains is significance for the reconstruction of the Kazakhstan Junggar plate and the Tarim North China plate, but there is a dispute on the understanding of the tectonic environment of the Western Tianshan Mountains during this period. Based on the field survey of Wulang Formation in the east section of Shankou Hydropower Station, this paper found that the profile contains basalt, tuff, sandstone, showing the combination of overflow-eruption-sedimentary, with five volcanic eruption rhythms, indicating that the Wulang Formation in this area was formed in a continental margin environment;The major,trace and rare earth elements analysis study of basalts show that the sample Littman index 1.6~6.71, AR 1.28~1.97, calc-alkaline, alkaline para aluminous basalt. ΣREE $88.21 \times 10^{-6} \sim 285.73 \times 10^{-6}$, LR/HR3.31~6.49, light rare earth enriched basalt. $(\text{Rb}/\text{Yb})_N$ 3.04~4.61, Nb/Ta 20.70~40.83, Zr/Hf16.09~64.58, which are residual basalts of metasomatic mantle source affected by continental crust and volcanic arc. Through Sm/Yb-Sm graphic analysis, it is found that the corresponding subduction depth of volcanic magma may originate from the upper mantle 120~150km. According to the characteristics of basalt source area, the magma material source is garnet lherzolite belt, with a high depth melting; Combined with previous regional studies and Hf/3-Th Ta diagram, it is believed that the Wulang Formation in this area was formed in a continental edge island arc environment.

Key words: Wulang Formation; Basalt; Geochemistry; Tectonic environment; Epicontinental island arc