

地球科学

柴北缘早古生代滩间山群火山岩形成的构造环境

坚润堂^{1,2} 许德如¹ 李峰³

(中国科学院广州地球化学研究所¹, 广州 510640; 中国有色金属工业昆明勘察设计研究院²,
昆明 650051; 昆明理工大学国土资源工程学院³, 昆明 650093)

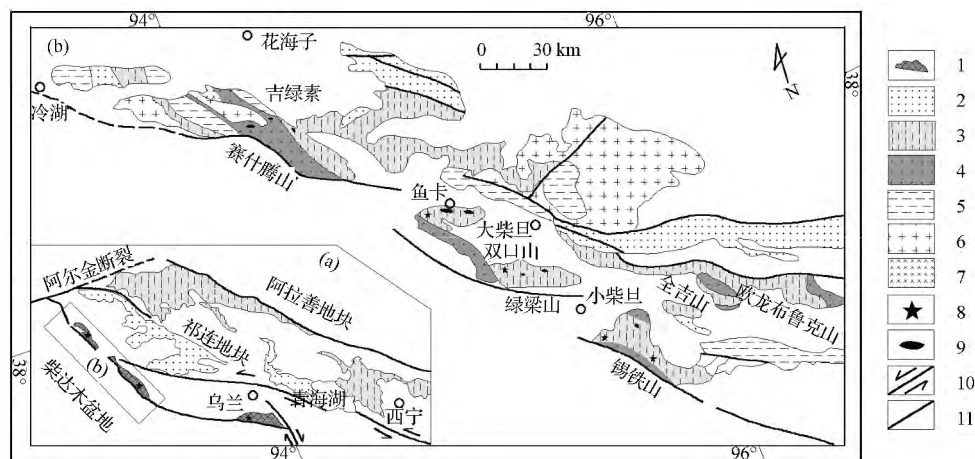
摘要 柴北缘早古生代滩间山群火山岩由下部火山碎屑岩组(O_1^{h-2})和上部熔岩次火山岩组(O_3)构成,其成岩背景长期存在争议。火山岩岩石学、岩石化学及地球化学研究结果表明,下部火山岩总体表现出大陆裂谷环境特征,上部火山岩显示出类岛弧环境特征,由下而上显示本区经历了一个由开(裂开)→合(闭合)的过程。结合柴北缘及其邻区构造演化史,认为柴北缘是在早古生代古大陆基础上发生和发展而来的裂谷环境,不同于洋壳俯冲的典型活动陆缘岛弧环境,应是演化阶段更高级和更复杂的微陆块间的“开-合构造”。

关键词 早古生代 滩间山群 构造环境 柴北缘
中图法分类号 P542.36; 文献标志码 A

1 地质背景

柴达木盆地北缘(简称柴北缘)赛什腾山、缘梁山、锡铁山及沙柳河一带,出露一套北西西向不规则带状断续展布的早古生代浅变质海相火山-沉积岩系,称滩间山群(图1)。因其中赋存重要的铅、锌、铜、金等多金属矿产资源而倍受关注。滩间山群的研究始于20世纪50年代初对锡铁山矿床的勘查,近

年来,随着锡铁山找矿的不断突破,滩间山群地层层序、形成时代及构造环境等关键基础地质问题引起地学界的普遍关注;前两个问题已基本取得统一认识,但其形成的古构造环境,仍存裂隙槽^[1-6]和岛弧^[7-13]之争。笔者等近几年的研究表明,滩间山群遭受了十分强烈的褶皱变形,总体上呈复式向斜构造。基于该火山岩野外地质特征、岩石组合以及地球化学分析,认为滩间山群形成于大陆(陆缘)裂谷环境。



1 为超高压变质带 2 为前寒武系 3 为元古界达肯大坂群 4 为滩间山群 5 为上古生界, 6 为花岗岩, 7 为辉长岩 8 为榴辉岩 9 为超基性岩, 10 为走滑断层, 11 为逆冲断层

图1 柴北缘滩间山群分布图

Fig. 1 Simplified geological map of the northern margin of the Qaidam basin

2 火山岩特征

2.1 岩相学特征

滩间山群火山岩由下部火山碎屑岩组(O_1^{h-2})

2015年3月26日收到 西部矿业公司项目(kkk0200621105)、
云南省科技惠民计划(2013CA019)资助
第一作者简介:坚润堂(1973—),男,博士,博士后,高级工程师。研究
方向:矿床地质。E-mail: 529549698@qq.com。

和上部熔岩次岩组(O_3^s)构成。

下部火山碎屑岩组(O_{1-2}^h)火山岩的岩石类型主要有流纹岩、英安流纹岩、英安岩、流纹质晶屑凝灰岩、英安质晶屑凝灰岩、凝灰岩及玄武岩等。

2.1.1 流纹岩

主要产出在(O_{1-2}^h)组火山岩顶部,呈灰绿色或浅灰绿色,流纹或状块构造,不等粒变晶结构,斑晶主要由正长石、斜长石、微斜长石和石英组成。基质主要由正长石、斜长石、石英以及绿泥石、绿帘石、绢云母和少量白云母组成,粒径一般 $0.05\text{ mm} \pm$,其中石英、长石多发生重结晶,片理化明显。

2.1.2 流纹岩

英安流纹岩:呈灰白-灰绿和浅肉红色,不等粒变晶结构,流纹构造或块状构造。斑晶主要由正长石、斜长石、微斜长石和石英组成。斜长石斑晶受蚀作用外形呈港湾状,发育环带结构,可见钠长石聚片双晶。部分斜长石斑晶被绢云母所替代,表面不清。正长石斑晶含量约为5%或更少,可见卡氏双晶。微斜长石受蚀具明显的港湾状或圆润边缘现象,局部有拉长现象,发育格子双晶,含量5%~15%。石英斑晶多呈粒状,具有波状消光,含量约15%。基质主要由正长石、斜长石、石英以及绿泥石、绿帘石、绢云母和少量白云母组成,粒径一般在 0.05 mm 左右。其中石英、长石明显发生重结晶,片理化现象清楚。绿泥石、绢云母和白云母片理化清楚,多呈定向排列,粒状矿物长石、石英、绿帘石也大致沿片理方向分布。

2.1.3 英安岩

与流纹岩产出层位一致,呈肉红色-灰绿色,块状构造,斑状及卵斑状结构。斑晶主要由斜长石和

石英(1%~3%)组成,基质由钾长石、斜长石和石英等组成,含少量方解石、绢云母和绿泥石。

2.1.4 英安质晶屑凝灰岩

呈浅绿灰-浅灰色,块状或片状构造,斑状变晶结构或变余火山碎屑结构。岩石主要由正长石、斜长石、石英、绢云母、白云母等组成。正长石和斜长石大量出现于斑晶和基质中,石英则仅见于基质中。斜长石普遍蚀变强烈,表面不清,斑晶呈大小不等的尖棱状,发育环带结构。其次还见钠长石聚片双晶及卡钠复合双晶,双晶纹宽而粗,并见有双晶纹弯曲现象,用 $\perp(010)$ 晶带的最大消光角法测得 $An=29$,为更长石,含量20%左右,有熔蚀现象。正长石斑晶呈尖角状,边缘有熔蚀现象,具卡氏双晶。并可见残留的正长石晶屑,含量约5%。

基质主要由细小的长石、石英组成,重结晶现象明显,粒径为 $0.02\sim 0.08\text{ mm}$,大的可达 0.2 mm 。霏细结构。上部火山岩主要为一套由安山岩、安山玄武岩、玄武岩等组成的中-基性火山岩组合。

2.2 岩石化学

滩间山群火山岩的岩石化学成分列于表1、表2中,根据 $\text{SiO}_2-(\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O})$ 相关图(图2、图3),下部火山岩投影点全部落入亚碱性区域。上部火山岩大多数投影点落入亚碱性区域,说明滩间山群火山岩以亚碱性为主。在AFM图解中,下部火山岩14个样品数据仅有2个投点落入拉斑玄武岩系列区内,其余投点全部投入钙碱性系列区内(图4),具有明显富碱趋势,属典型的钙碱系列火山岩。上部火山岩样品则分别落入钙碱性和拉斑玄武岩系列两岩区(图5)。表明滩间山群上、下火山岩形成于不同的构造环境。

表1 滩间山群下部火山碎屑岩组(O_{1-2}^h)火山岩岩石化学成分

Table 1 Chemical compositions of (O_{1-2}^h) in volcanic rocks in the Tanjianshan Group

岩石名称	样品号	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	CO ₂	σ	τ
变英安岩	82XB107	71.76	0.27	13.14	1.36	2.37	0.06	1.09	2.41	3.78	1.56	0.06	0.81	1.00	34.7
变英安岩	2942-31-5	69.58	0.19	12.83	1.31	3.77	0.48	0.37	4.13	4.51	0.51	0.12	1.55	0.95	43.8
变英安岩	3002-67-1	70.20	0.20	16.62	0.53	1.75	0.63	0.62	1.90	5.62	0.85	0.09	0.46	1.54	55.0
变流纹岩	Zk44003-17-1	72.25	0.21	14.59	1.19	1.51	0.03	0.95	1.86	5.45	0.81	0.05	0.28	1.34	43.52
变流纹岩	dt-1-1	72.79	0.19	13.85	2.21	2.11	0.07	1.96	2.31	4.62	0.63	0.04			0.93
变英安流纹岩	Zk44003-18-9	69.37	0.22	13.03	0.46	2.98	0.04	1.32	2.23	5.35	0.86	0.16	2.72	1.46	
变英安流纹岩	L-4	72.39	0.12	15.0	0.30	0.915	0.02	0.4	1.58	6.44	0.96	0.04	3.00	1.86	17.5
变英安质凝灰岩	Zk44003-17-12	60.76	0.70	16.56	1.12	5.66	0.09	4.01	1.10	2.28	0.17	4.60		0.34	
变英安岩	3002-67-3	63.29	0.40	13.91	2.45	5.19	0.13	2.78	2.70	4.16	1.09	0.16	1.63	1.18	24.28
变流纹岩	XT-2	70.96	0.21	13.36	1.00	1.30	0.05	0.92	2.92	3.87	1.92	0.07	1.81	1.19	45.19
英安岩	26	65.60	0.56	14.41	3.20	0.53	0.06	0.45	4.28	4.59	1.90	0.26	3.00	1.86	5.85
英安岩	27	66.68	0.36	14.70	0.90	4.02	0.06	1.65	1.95	4.96	1.05	0.07	1.25	1.50	8.81
英安岩	28	66.45	0.33	15.10	1.32	0.95	0.03	0.50	3.22	4.61	2.30	0.13	2.51	2.01	3.25
英安岩	25	69.48	0.21	15.00	0.75	1.35	0.07	0.69	2.34	4.61	2.20	0.05	1.60	0.58	3.67
安山玄武岩	1	52.22	2.35	14.04	8.41	3.36	0.11	2.06	9.07	0.14	4.48	0.45	1.93	2.92	5.03
安山玄武岩	2	53.09	1.83	13.90	4.34	5.90	0.02	4.53	8.15	0.85	4.70	0.36	0.38	4.2	4.03
玄武岩	3	50.01	2.30	14.26	4.73	7.71	0.27	5.58	6.81	0.36	4.97	0.43	0.42	2.3	4.31

表 2 滩间山群上部熔岩次火山岩组(O₃^s) 火山岩岩石化学成分

Table 2 Chemical compositions of (O₃^s) in volcanic rocks in the Tanjianshan group

样品名称	样品号	SiO ₂	Ti ₂ O	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	CO ₂	σ	τ
粗面玄武岩	845 II GS-42	46.90	1.85	14.63	5.38	6.71	0.17	4.83	6.14	4.80	0.43	0.34	3.98	7	5.3
玄武岩	825 II GS-26	46.21	2.14	13.60	5.33	6.84	0.20	6.50	6.09	3.70	0.29	0.04	4.08	5	4.6
粗面安山岩	825 II GS-27	48.07	1.85	16.43	2.30	7.33	0.14	4.90	5.98	4.60	0.74	0.35	2.60	5.6	6.4
玄武岩	825 II GS-06	50.30	0.52	18.09	2.90	5.84	0.26	3.94	8.58	4.51	0.25	0.18	2.04	3.1	26.1
玄武岩	825 II GS-13	47.60	0.71	15.24	3.26	6.66	0.19	8.06	11.42	2.49	0.34	0.20	0.89	1.7	18
粗面安山岩	845 II GS-36	54.70	0.51	19.02	2.72	5.30	0.19	2.84	5.11	5.11	0.43	0.18	0.20	2.6	27.3
安山岩	845 II GS-55	47.98	1.98	15.09	5.13	6.45	0.13	7.11	7.97	2.56	0.13	0.03	0.24	1.5	6.3
粗面安山岩	82XB126	55.47	2.24	13.19	8.51	2.91	0.1	1.27	6.04	6.24	0.16	0.58		3.3	3.1
安山岩	845 II GS-50	57.22	0.91	14.92	1.92	5.13	0.13	3.75	7.26	4.88	0.23	0.45		4.9	3.4
玄武安山岩	845 II GS-51	50.24	2.38	13.74	8.26	4.27	0.03	2.28	8.38	5.70	0.26	0.55	3.12	4.9	3.42
玄武安山岩	845 II GS-54	50.96	2.54	14.54	7.38	4.53	0.13	2.38	8.05	5.85	0.40	0.58	1.74	2.3	4
粗面安山岩	17	55.47	2.24	13.19	8.51	2.91	0.1	1.27	6.04	6.24	0.16	0.58	2.61	3.3	3.1
玄武岩	4	51.43	2.43	13.89	3.94	7.58	0.17	5.37	7.77	4.13	0.25	0.42	0.42	1.6	6.4
玄武岩	5	49.58	1.71	13.92	3.44	7.98	0.19	7.25	9.82	2.94	0.29	0.25	0.50	2.8	5.3
玄武岩	16	50.11	2.07	15.26	5.57	6.11	0.12	4.99	8.92	4.28	0.17	0.34	0.26	5	4.6
玄武岩	19	46.21	2.14	13.60	5.33	6.84	0.20	6.50	6.09	3.70	0.29	0.04	4.08	5.1	3.3
玄武岩	20	51.73	2.28	13.76	7.61	3.29	0.09	1.85	7.38	6.33	0.32	0.70	2.39	1.7	7.6
玄武岩	21	48.60	1.32	13.00	3.59	11.71	0.28	7.02	8.05	2.92	0.20	0.15	0.18	1.5	10.5
玄武岩	23	47.21	0.12	16.83	18.4	6.75	0.11	7.73	5.70	2.07	1.53	0.21	4.08	4.04	12.5

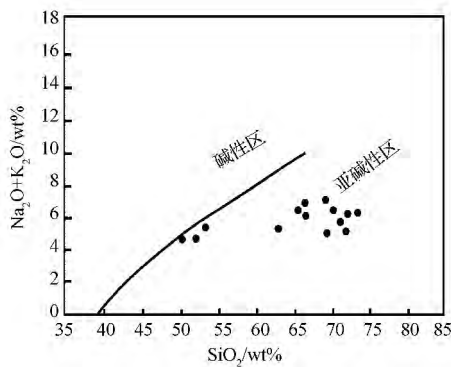
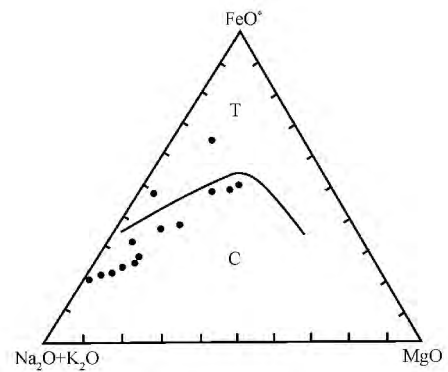


图 2 滩间山群下部火山碎屑岩组 SiO₂ - Na₂O + K₂O 图

Fig. 2 SiO₂ - Na₂O + K₂O diagrams of the (O₁₋₂^h)



T 为拉斑玄武岩系列; C 为钙碱性系列。

A = Na₂O + K₂O, F = FeO* = FeO + 0.9Fe₂O₃, M = MgO

图 4 滩间山群下部火山岩 AFM 图解

Fig. 4 AFM diagrams of the (O₁₋₂^h)

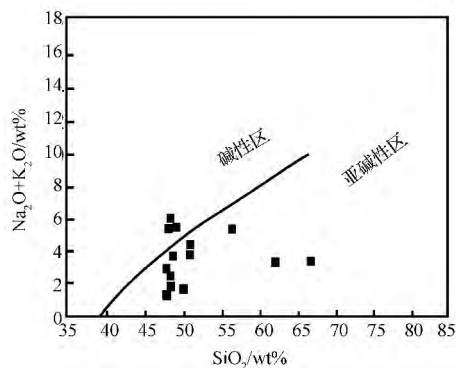
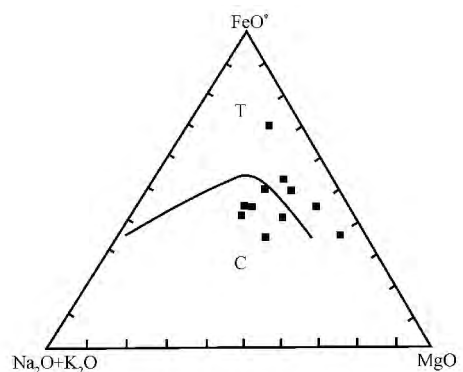


图 3 滩间山群上部熔岩次火山岩组 SiO₂ - Na₂O + K₂O 图

Fig. 3 SiO₂ - Na₂O + K₂O diagrams of the (O₃^c)



T 为拉斑玄武岩系列; C 为钙碱性系列。

A = Na₂O + K₂O, F = FeO* = FeO + 0.9Fe₂O₃, M = MgO

图 5 滩间山群上部火山岩 AFM 图解

Fig. 5 AFM diagrams of the (O₃^c)

3 火山岩构造环境判别

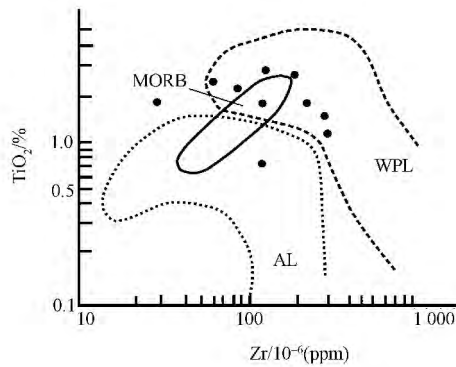
采用活动性较弱的微量元素如 Ti、Zr、Nb、Ta 等高场强元素和 REE 元素进行火山岩大地构造环境判别。

3.1 Ti、Zr、Nb、Ta 等高场强元素

Ti、Zr、Nb、Ta 在玄武岩浆体系中属于不相容元素,它们在蚀变、变质过程中活动性较小,往往保持原岩特征,它们的演化特征反映了岩浆的成因过程。由图 6~图 9 可以看出:

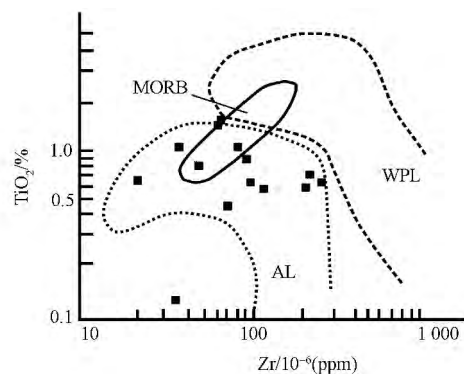
下部火山岩在 TiO₂-Zr 图解上大部分投影点落入板内熔岩区内。在 Ti-Zr-Y 判别图解上,投影点几乎都落入板内玄武岩区内。

上部火山岩样品在 TiO₂-Zr 图解上大部分落入岛弧熔岩区,个别落入洋中脊玄武岩区。在 Ti-Zr-Y 判别图解上,几乎全部落入岛弧拉斑玄武岩(A+B)中。



MORB 为洋中脊玄武岩; WPL 为板内熔岩; AL 为岛弧熔岩
图 6 下部火山岩 TiO₂-Zr 双对数图(据 Pearce, 1980)^[14]

Fig. 6 TiO₂-Zr diagrams of the(O₁₋₂^h)

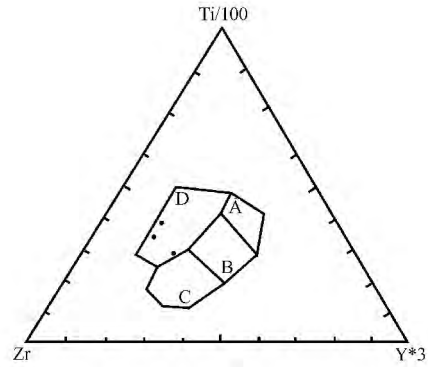


MORB 为洋中脊玄武岩; WPL 为板内熔岩; AL 为岛弧熔岩
图 7 上部火山岩 TiO₂-Zr 双对数图^[14]

Fig. 7 TiO₂-Zr diagrams of the(O₃^s)^[14]

3.2 稀土元素地球化学特征

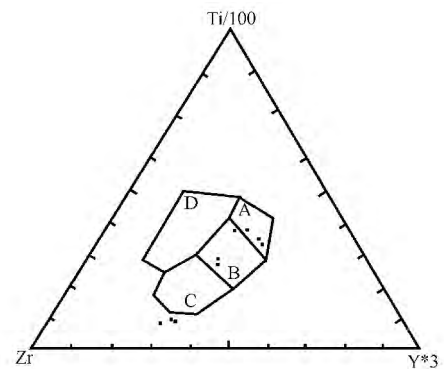
柴北缘滩间山群火山岩的稀土元素含量及主要



A+B 为岛弧拉斑玄武岩; B 为洋底玄武岩;
B+C 为钙碱性玄武岩; D 为板内玄武岩

图 8 (O₁₋₂^h) 中岩玄武岩 Ti-Zr-Y 图^[15]

Fig. 8 Ti-Zr-Y diagrams of the(O₁₋₂^h)^[15]



A+B 为岛弧拉斑玄武岩; B 为洋底玄武岩;
B+C 为钙碱性玄武岩; D 为板内玄武岩

图 9 (O₃^s) 中玄武岩 Ti-Zr-Y 图^[15]

Fig. 9 Ti-Zr-Y diagrams of the(O₃^s)^[15]

参数见表 3、表 4。

由表可见:(1)下部火山碎屑岩组(O₁₋₂^h)火山岩(英安岩、英安流纹岩、英安流纹质凝灰岩)轻稀土元素含量较高 [(40.12~213.6) × 10⁻⁶],变化范围大,(La/Yb)_N 比值大于 1.0,L/H 比值为 1.5~4.3,Eu/Sm 比值为 0.1~0.27(<0.3333),表现为轻稀土元素弱富集的分型型稀土元素分布型式。下部火山岩中酸性岩类 δEu 值多集中在 0.36~0.45 之间,显示 Eu 较强的亏损特征,表明中酸性岩类应为地壳熔融形成。

玄武岩类 δEu 值则集中在 0.79~0.86 之间,Eu 略有亏损,但不明显,说明其未经很好的分离结晶就被喷发出来。表明滩间山群下部碎屑岩组火山岩中基性岩类和酸性岩类具有不同的来源,中基性岩类是岩浆分离结晶形成,而酸性岩类则由地壳重熔形成。

表 3 下部火山碎屑岩组(O_1^{h-2})火山岩稀土元素含量(W_B)/ 10^{-6} Table 3 REE contents of volcanic rocks from (O_1^{h-2}) (W_B)/ 10^{-6}

岩石名称	变流纹岩	变英安流纹岩	变英安流纹岩	变英安流纹岩	变英安流纹岩	变英安流纹岩	变玄武岩	变玄武岩	变玄武岩	变玄武岩
样品号	2942-31-5	3002-47-1	3002-67-1	03-17-12	03-18-19	L-4	1	2	3	4
La	22.66	22.38	14.76	52.2	15.1	8.16	13.73	13.14	6.73	10.05
Ce	42.08	46.25	31.27	96.1	31.78	16.88	36.06	58.35	20.28	27.90
Pr	4.65	5.24	3.95	12.1	4.25	2.40	5.93	5.72	2.80	3.95
Nd	16.35	17.88	14.71	43.8	16.2	9.73	22.53	22.70	13.55	17.72
Sm	2.74	2.90	3.03	8.26	3.74	2.31	6.23	6.36	3.73	5.18
Eu	0.57	0.42	0.37	1.39	0.51	0.55	1.65	1.72	0.96	1.23
Gd	2.65	2.73	3.60	7.01	3.54	1.75	5.97	6.35	3.74	4.96
Tb	0.35	0.34	0.67	1.0	0.71	0.25	1.71	1.7	1.69	1.7
Dy	1.88	2.05	4.42	4.97	4.33	1.16	4.70	4.80	3.04	4.02
Ho	0.35	0.43	1	0.91	0.87	0.22	0.88	0.95	0.52	0.75
Er	1	1.36	3.05	2.51	2.36	0.57	2.44	2.56	1.67	2.18
Tm	0.15	0.24	0.43	0.43	0.42	0.09	0.33	0.35	0.23	0.31
Yb	1	1.57	2.56	2.60	2.66	0.59	2.27	2.12	1.40	1.92
Lu	0.24	0.30	0.36	0.36	0.38	0.09	0.54	0.52	0.53	0.52
Σ REE	96.75	104.2	84.24	233.3	86.95	44.81	105	127.3	60.84	82.94
LREE	89.14	95.03	68.07	213.6	71.65	40.12	86.12	108	48.04	66.59
HREE	7.6	9.01	16.18	19.77	15.32	4.66	18.87	19.32	12.82	16.35
LREE/HREE	11.73	10.53	4.21	10.82	4.68	8.59	4.55	5.60	3.76	4.07
(La/Sm) _N	5	4.71	2.97	3.83	2.46	2.14	1.34	1.25	1.11	1.95
(Gd/Yb) _N	2.11	1.41	1.12	2.17	1.06	2.36	2.1	2.4	2.12	2.56
(La/Yb) _N	14.93	9.45	3.78	13.25	3.74	9.13	3.96	4.1	3.15	5.21
(Sm/Nd) _N	0.169	0.162	0.21	0.19	0.23	0.24	0.27	0.28	0.27	0.29
δ Ce	0.95	0.99	0.96	0.89	0.92	0.89	0.93	1.57	1.08	
δ Eu	0.66	0.45	0.36	0.56	0.44	0.86	0.83	0.84	0.79	0.82

注: 稀土元素标准化值为球粒陨石(Leedy 常数)。

表 4 上部熔岩次火山岩组(O_3^y)火山岩稀土元素含量(W_B)/ 10^{-6} Table 4 REE contents of volcanic rocks from (O_3^y) (W_B)/ 10^{-6}

岩石名称	玄武岩	玄武岩	玄武岩	玄武岩	玄武岩	玄武岩	玄武岩	玄武岩	安山岩	安山岩	玄武岩	玄武岩	玄武岩	玄武安山岩	玄武岩
样品号	99Y-511	99Y-514	99Y-516	99Y-517	99Y-518	99y-520	99y-522	DQY-34	DQY-35	DQY-36	DQY-37	DQY-38	dt-3-5	dy-66-1	
La	15.97	11.91	12.46	9.88	6.39	5.01	7.67	39.74	39.58	48.80	51.82	50.27	10.1	16.0	
Ce	31.06	25.34	27.90	23.94	14.70	12.41	18.39	71.28	68.64	228.48	231.89	234.43	20.6	35.8	
Pr	3.44	2.83	3.01	2.88	1.64	1.45	2.36	6.80	6.87	3.22	3.43	3.39	2.92	4.85	
Nd	13.78	12.41	12.73	12.86	7.44	6.49	11.16	23.79	24.37	58.11	63.89	60.61	12.0	22.8	
Sm	3.03	2.96	3.11	3.43	2.29	1.77	3.11	4.25	4.13	3.35	3.73	3.48	2.79	5.57	
Eu	1.01	1.04	1.12	1.20	0.81	0.63	1.12	0.97	1.15	0.28	0.31	0.31	0.89	1.82	
Gd	3.27	3.16	3.67	3.94	2.62	2.12	3.88	3.90	3.69	3.94	4.42	4.10	2.63	5.04	
Tb	0.51	0.58	0.58	0.71	0.49	0.38	0.71	0.55	0.45	0.08	0.10	0.09	0.50	0.91	
Dy	2.92	3.25	3.24	4.21	2.76	2.33	4.21	2.69	2.74	1.89	2.00	2.01	3.11	5.24	
Ho	0.58	0.68	0.69	0.85	0.57	0.51	0.87	0.55	0.52	0.11	0.11	0.11	0.67	1.02	
Er	1.64	1.88	1.78	2.11	1.55	1.43	2.36	1.38	1.47	0.76	0.79	0.79	1.94	2.68	
Tm	0.24	0.28	0.27	0.31	0.23	0.18	0.37	0.21	0.23	0.02	0.16	0.17	0.37	0.44	
Yb	1.58	1.68	1.87	2.09	1.51	1.23	2.51	1.47	1.55	0.65	0.67	0.66	2.44	2.68	
Lu	0.26	0.28	0.30	0.35	0.25	0.22	0.14	0.26	0.26	0.02	0.02	0.02	0.36	0.36	
Σ REE	79.29	68.28	72.73	68.76	43.25	36.16	58.86	157.8	155.7	513.74	538.97	530.19	61.32	105.2	
LREE	68.29	56.49	60.33	54.19	33.27	27.76	43.81	146.8	144.7	485.56	508.5	500.82	49.3	86.84	
HREE	11	11.79	12.4	14.57	9.98	8.4	15.05	11.01	10.91	28.18	30.47	29.37	12.02	18.37	
L/H	6.21	4.79	4.87	3.72	3.33			13.34	13.27				4.10	4.73	
(La/Sm) _N	3.21	2.45	2.44	1.75	1.70			5.69	5.83				2.20	1.75	
(Gd/Yb) _N	1.66	1.51	1.57	1.51	1.39			2.12	1.91				0.86	1.51	
(La/Yb) _N	6.66	4.67	4.39	3.11	2.79			17.81	16.82				2.73	3.93	
(Sm/Nd) _N	0.22	0.24	0.24	0.27	0.31	0.27	0.28	0.18	0.17	0.18	0.18	0.18	0.23	0.24	
δ Ce	0.96	1.02	1.06	1.07	1.07	1.09	1.03	1.01	0.92	0.95	0.91	0.94	0.89	0.95	
δ Eu	0.98	1.03	1.01	0.99	1.01	0.99	0.98	0.72	0.88	0.72	0.70	0.74	1.02	1.06	

资料来源

文献[14]

课题组(2007)

注: 稀土元素标准化值为球粒陨石(Leedy 常数)。

英安岩、流纹岩及玄武岩球粒陨石标准化曲线见图 10~图 12。英安岩曲线呈从左至右逐渐下降的右倾型,但有明显的高低跳跃,尤其是重稀土元素部分波动较大。流纹岩曲线为右倾型,轻稀土元素部分中等程度倾斜,重稀土元素段斜率较小,相对平缓。玄武岩类基性火山岩曲线为左高右低的平坦型,轻稀土元素略微富集, Eu 亏损不明显。

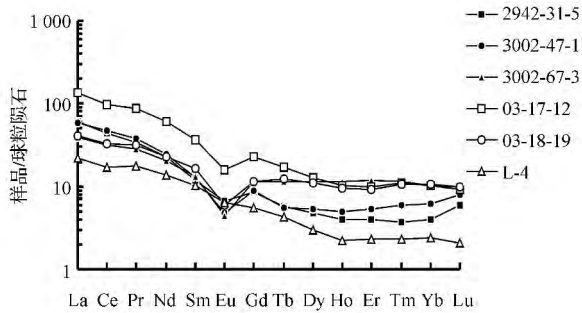


图 10 下部火山岩组流纹岩稀土元素配分模式
Fig. 10 REE patterns of rhyolite of the understratum of Tanjianshan Group

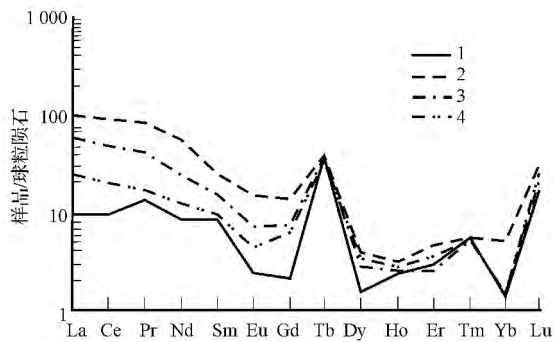
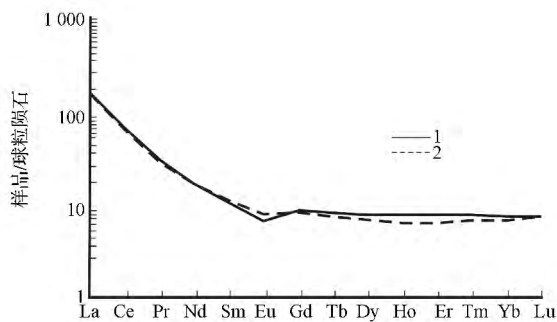


图 11 下部火山岩组英安岩稀土元素配分模式
Fig. 11 REE patterns of dacite of the understratum of Tanjianshan Group



(样品岩性同表 3)

图 12 下部火山岩组玄武岩稀土元素配分模式
Fig. 12 REE patterns of basalt of the understratum of Tanjianshan Group

上部熔岩次火山岩组(O_3^y) 中基性火山岩的球

粒陨石标准化稀土配分曲线见图 13~图 15。其中,安山岩的球粒陨石标准化曲线明显右倾,表明轻稀土元素中等程度富集,重稀土元素曲线呈舒缓状,无明显 Eu 异常。玄武岩球粒陨石标准化曲线表现为轻稀土元素略有富集的弱分离型,从 La-Eu 依次减量富集,稀土元素曲线总体较平缓。钕基本无亏损或亏损不明显。从玄武岩到安山岩轻稀土元素富集程度呈现逐渐增加的趋势。这种轻稀土元素分布型式与岛弧拉斑玄武岩或大洋拉斑玄武岩的地球化学特征类似^[5]。

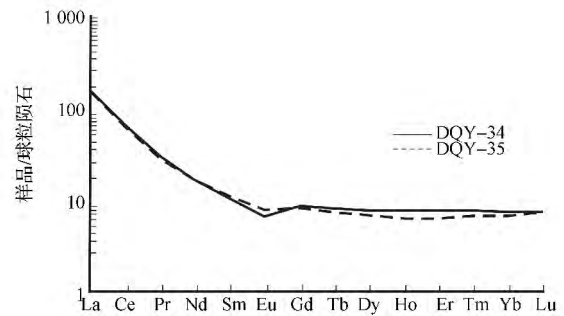


图 13 上部火山岩组安山岩稀土元素配分模式
Fig. 13 REE patterns of andesite of the upper stratum of Tanjianshan Group

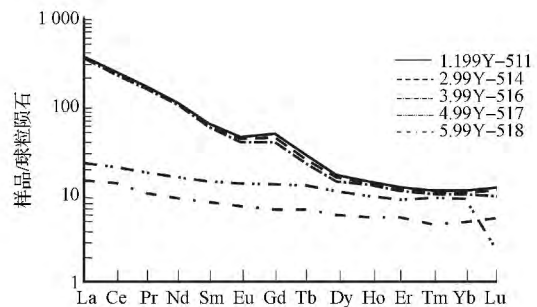


图 14 上部火山岩组玄武岩稀土元素配分模式
Fig. 14 REE patterns of basalt of the upper stratum of Tanjianshan Group

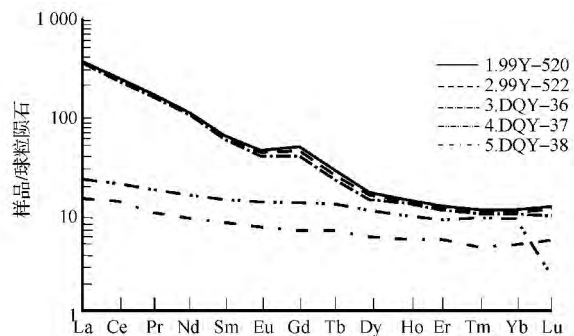


图 15 上部火山岩组玄武岩稀土元素配分模式
Fig. 15 REE patterns of basalt of the upper stratum of Tanjianshan Group

4 结论

以上论述表明,柴北缘滩间山群火山岩至少存在大陆裂谷、岛弧两种不同类型的岩石组合。部分学者从岩石组合出发,认为柴北缘早古生代曾存在古洋盆,进而推断柴北缘滩间山群属岛弧类型火山岩。然而通过岩石学、岩石化学、微量元素和稀土元素地球化学综合分析,可以看出柴北缘滩间山群下部火山岩以中酸性和基性岩类为主,具裂谷“双峰式”火山岩组合的典型特征;上部火山岩主要为中性-基性岩类,具过渡类型火山岩特征,火山岩的喷发是在以陆壳为基底的水下喷发逐渐向类岛弧环境演化,即有由板内熔岩向类岛弧玄武岩转化的趋势,整个区内极少见典型的洋脊玄武岩。从区域上看,柴北缘夹持于柴达木地块与南祁连造山带之间,是柴达木地块与欧龙布鲁克微陆块之间的造山带,而欧龙布鲁克微陆块和柴达木地块均为华北地台南缘裂解下来的残块。因此我们认为,柴北缘造山带是在元古宙古陆壳上发展而来的陆内(陆缘)裂谷环境,而不同于洋壳向陆壳俯冲的典型活动陆缘岛弧环境,应是更高演化阶段和具更复杂演化历史的微陆块间“开-合构造”。

参 考 文 献

- 1 郭介人,任秉琛,张 莓,等. 青海锡铁山块状硫化物矿床的类型及地质特征. 中国地质科学院西安地质矿产研究所刊,1987; 20: 1—70
Wu Jieren, Ren Bingchen, Zhang Mei *et al.* The genetic type and geological characteristics of the Xitieshan massive sulphide deposit, Qinghai Province. The Transaction of Xi'an Institute of Geology and Mineral Resources, CAGS, Xi'an: Shaanxi Science and Technology Press, 1987; 20: 1—70
- 2 熊兴武,陈忆元. 柴达木地块北缘早古生代裂陷槽. 见:王鸿祯,王自强,张 玲,等. 中国古大陆边缘中-新元古代及古生代构造演化. 北京:地质出版社,1994: 114—131
Xiong Xingwu, Cheng Yiyuan. Problems of Palaeozoic aulacogen on the northern border of the Qaidam Massif. Wang Hongzhen, Wang Ziqiang, Zhang Ling, *et al.* Beijing: Geological Publishing House, 1994: 114—131
- 3 庄儒新,李 峰. 柴达木盆地北缘滩间山群火山岩及形成环境. 云南地质, 2006; 25(2): 209—217
Zhuang R X, Li F. The characteristics and formation environment of Tanjianshan Group volcanic rock of north margin of Chaidamu Basin. Yunnan Geology, 2006; 25(2): 209—217
- 4 坚润堂. 青海锡铁山铅锌矿床的双层结构及其成矿模式,昆明:昆明理工大学, 2010
Jian Runtang. Two-layer structure and metallogenic model of Xitieshan Lead-zinc Deposit in Qinhai Province. Kunming: Kunming University of Science and Technology, 2010
- 5 赵风清,郭进京,李怀坤. 青海锡铁山地区滩间山群的地质特征及同位素年代学. 地质通报, 2003; 22(1): 28—31
Zhao Fengqing, Guo Jinjing, Li Huaikun. Geological characteristics and isotopic age of Tanjianshan Group along northern margin of Qaidam Basin. Geological Bulletin of China, 2003; 22(1): 28—31
- 6 攀俊昌,李 峰. 青海锡铁山矿区滩间山群新认识. 地质与勘探, 2006; 42(6): 21—25
Pan Junchang, Li Feng. Revision on Tanjianshan Group in the Xitieshan Mine, Qinghai Province. Geology and Prospecting, 2006; 42(6): 21—25
- 7 赖绍聪,邓晋福,赵海玲. 柴达木北缘奥陶纪火山作用与构造机制. 西安地质学院学报, 1996; 18(3): 8—14
Lai Shaocong, Deng Jinfu, Zhao Hailing. Volcanism and tectonic setting during Ordovician period on North Margin of Qaidam. Journal of Xi'an College of Geology, 1996; 18(3): 8—14
- 8 赖绍聪,邓晋福,赵海玲. 柴达木北缘古生代蛇绿岩及其构造意义. 现代地质, 1996; 10(1): 18—28
Lai Shaocong, Deng Jinfu, Zhao Hailing. Paleozoic ophiolites and its tectonic significance on north margin of Qaidam Basin. Geoscience, 1996; 10(1): 18—28
- 9 王惠初,陆松年,袁桂邦,等. 柴达木盆地北缘滩间山群的构造属性及形成时代. 地质通报, 2003; 22(7): 487—493
Wang H C, Lu S N, Yuan G B *et al.* Tectonic setting and age of the Tanjianshan Group on the north margin of Qaidam Basin. Geol Bull, 2003; 22(7): 487—493
- 10 王惠初. 柴达木盆地北缘早古生代碰撞造山及岩浆作用. 北京:中国地质大学, 2006
Wang Huichu. Early paleozoic collisional orogeny and magmatism on northern margin of the Qaidam Basin. Beijing: China University of Geoscience(Beijing), 2006
- 11 史仁灯,杨经绥,吴才来. 柴北缘早古生代岛弧火山岩中埃达克质英安岩的发现及其地质意义. 岩石矿物学杂志, 2003; 22(3): 229—236
Shi Rendeng, Yang Jingsui, Wu Cailai. The discovery of adakitic dacite in Early Palaeozoic Island Arc Volcanic Rocks on the northern margin of Qaidam Basin and its geological significance. Acta Petrologica et Mineralogica, 2003; 22(3): 229—236
- 12 史仁灯,杨经绥,吴才来,等. 柴北缘超高压变质带中岛弧火山岩. 地质学报, 2004; 78(1): 52—64
Shi Rendeng, Yang Jingsui, Wu Cailai, *et al.* Island Arc Volcanic Rocks in the North Qaidam UHP Metamorphic Belt. Acta Geologica Sinica, 2004; 78(1): 52—64
- 13 庄儒新,李 峰. 柴达木盆地北缘滩间山群火山岩及形成环境. 云南地质, 2006; 25(2): 209—217
Zhuang Ruxin, Li Feng. The characteristics and formation environment of Tanjianshan Group volcanic rock of North Margin of Chaidamu Basin. Yunnan Geology, 2006; 25(2): 209—217
- 14 Pearce J A. Geochemical evidence for the genesis and eruptive setting of lavas from Tethyan Ophiolites. Panayiotou A. (Ed.) Proc Internat Ophiolite Symp Cyprus, 1979, Geol Surv Dept Nicosia Cyprus, 1980: 261—272
- 15 Pearce J A, Cann. Tectonic setting of basic volcanic rocks determined using trace element analyses. Earth and Planetary Science Letters, 1973; 19(2): 290—300

(下转第 121 页)

Chemical Kinetics and Inclusion of Carboniferous in East Sichuan Based on the Analysis of Reservoir Forming History

TANG Wen-qiang^{1,2}, LI Feng-jie¹, WANG Xing², MEN Hong-jian³

(Institute of Sedimentary Geology, Chengdu University of Technology¹, Chengdu 610059, P. R. China;

No. 1 Oil Producing Plant of Qinghai Oil Field²; Qinghai Oilfield Research Institute of Exploration & Development³, Dunhuang 736202, P. R. China)

[Abstract] The department of hydrocarbon generation history of the source rocks of oil and gas reservoirs of Carboniferous in East Sichuan and accumulation history research are insufficient, lack of dynamic index based on quantitative, influence of Carboniferous in East Sichuan region to replace the new exploration. The chemical kinetic method was utilized for simulation of hydrocarbon generation history of the main hydrocarbon source rocks in Lower Silurian mudstone, and combining with the inclusion analysis technique of fluid into the history of research, analysis of the relationship between the two match, dynamic adjustment process simulation of Carboniferous reservoir, studies suggest that the Carboniferous reservoirs into three periods of hydrocarbon accumulation, the first during the period of Late Permian Triassic to late three, the Lower Silurian source rocks of early mature stage, began to get angry, the formation of small scale natural gas reservoirs in early second late three ~; Triassic early Jurassic period, hydrocarbon source rock for oil reservoir formation stage, the third stage; during the period of Yanshan paleo oil reservoir, encounter high temperature cracking stage, and later through adjustment and transformation, and ultimately the formation of the gas reservoir distribution. This paper shows that the analysis of chemical kinetics and inclusion technology can improveth.

[Key words] chemical kinetics inclusion East Sichuan Carboniferous

(上接第 101 页)

Tectonic Environment of the Tanjianshan Group on the Northern Margin of the Qaidam Basin

JIAN Run-tang^{1,2}, XU De-tu¹, LI Feng³

(Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Science¹, Guangzhou 510640, P. R. China;

Kunming Institute of Exploration & Design, China Nonferrous Industry Company Ltd.², Kunming 650051, P. R. China;

Faculty of Land Resource Engineering, Kunming University of Science and Technology³, Kunming 650093, P. R. China)

[Abstract] The Tanjianshan Group distributed on the northern margin of the Qaidam basin is an important volcanic-sedimentary formation of the Early Palaeozoic. igneous petrological, petrochemical, and geochemical research show that the under stratum of Tanjianshan group (O_{1-2}^h) is formed in an intracontinental rift setting, the upper stratum (O_3^y) has the characteristic of a formation with the island-arc setting, Volcanic facies range from Bimodal volcanic sequences to cal-alkaline igneous sequences with minor intermediate and oceanic ridges basalt. Combined with the evolution history of this region, the author considered that the North Qaidam undergone a break-make course during Eopleozoic, So it is different to the marginal island arc environment.

[Key words] early palaeozoic Tanjianshan Group tectonic setting northern margin of Qaidam