

北祁连阿柔地区奥陶纪火山岩 岩石学特征及其喷发旋回研究

徐伟祥¹, 徐均强¹, 张恺¹, 杜韦²

(1. 山东省第四地质矿产勘查院, 山东 潍坊 261021; 2. 山东省地质测绘院, 山东 济南 250013)

摘要:北祁连阿柔地区奥陶纪火山岩分布广泛, 发育在早奥陶世阴沟组和晚奥陶世扣门子组。对北祁连阿柔地区奥陶纪火山岩分布特征和岩石学特征进行了研究, 划分了3类火山岩岩相: 爆发相、喷溢相、喷发-沉积相。并划分了2个火山岩喷发旋回: 阴沟旋回和扣门子旋回。揭示了阿柔地区祁连洋(裂谷)演化特征, 对北祁连地区火山岩区域对比及火山机构恢复具有一定的指导意义。

关键词:奥陶纪火山岩; 岩石学特征; 喷发旋回; 北祁连阿柔地区

中图分类号: P627 **文献标识码:** A

引文格式: 徐伟祥, 徐均强, 张恺, 等. 北祁连阿柔地区奥陶纪火山岩岩石学特征及其喷发旋回研究[J]. 山东国土资源, 2015, 31(11): 1-8. XU Weixiang, XU Junqiang, ZHANG Kai, ect. Study on Petrological Characteristics and Eruption Cycles of Ordovician Volcanic Rocks in Arou Area of North Qilian Mountain[J]. Shandong Land and Resources, 2015, 31(11): 1-8.

阿柔地区奥陶纪火山岩主要发育在早奥陶世阴沟组、晚奥陶世扣门子组^①。由于区域断裂构造较发育, 各组一般顶底发育不全, 多呈断块状分布。该文通过对奥陶纪火山岩地层分布, 岩性组合特征及岩相特征的介绍, 划分了火山岩喷发旋回序列, 对于了解北祁连地区奥陶纪火山活动及构造活动历史具有一定的指导作用。

1 区域地质概况

该区在构造位置上属于柴达木-祁连板块(I)秦祁昆(东昆仑-祁连-北秦岭)晚加里东造山系之祁连造山带(I₁)的北祁连蛇绿混杂岩带(I₁²)^[1]。

1.1 地层

区域地层出露较全, 广泛发育古元古界至第四系, 仅缺上志留统。该区属祁连地层层区、北祁连山分区, 以下古生界最发育。前人工作对地层进行了研究, 对地层作了较系统的划分, 建立了完整的地层系

统^[2]。

1.2 构造

区内断裂构造、褶皱构造极为发育。断层形成于华力西-印支、燕山、喜马拉雅期, 走向断层占主导, 多发生在褶皱的轴和地层的接触处^[3]。

1.3 侵入岩

区内岩浆活动一般, 侵入活动皆属加里东期, 岩石类型从超基性至酸性均有发育^[4]。侵入岩多沿祁连造山带NW-SE向展布, 在空间上岩体分布与断裂和褶皱有关, 特别是局限于一定的地层和岩组分布条带内, 断续出现, 具有连续性^[5]。

2 奥陶纪火山岩岩石学特征

2.1 早奥陶世火山岩岩石学特征

早奥陶世火山岩产于阴沟组之中, 主要出露于阿柔乡西南鸡龙沟及西北部大马拉河、野牛山以北的走廊南山主脊南侧、中部青羊沟、东部羊熊子西北

收稿日期: 2015-04-15; 修订日期: 2015-08-12; 编辑: 曹丽丽

基金项目: 青海省祁连县阿柔地区 J47E011018、J47E012018、J47E012019、J47E012020 四幅 1:5 万区域地质矿产调查(KD2011-3-8)

作者简介: 徐伟祥(1982—), 男, 山东昌邑人, 工程师, 主要从事基础地质及矿产勘查工作; E-mail: dzxwx@163.com

①徐均强、徐伟祥等, 青海省祁连县阿柔地区 J47E011018 等四幅 1:5 万区域地质矿产调查报告, 2014 年。

(图 1)。岩性各地变化较大,鸡龙沟以西为玄武岩;野牛山以北的走廊南山主脊南侧主要为玄武安山岩;大马拉河以正常碎屑岩为主,夹硅质板岩、凝灰质板岩、凝灰角砾岩;中部青羊沟一带为灰绿色变凝

灰岩;八宝河南为一套灰绿色正常碎屑岩组合夹中基性火山熔岩;东部羊熊子西北以正常碎屑岩为主,夹硅质板岩、凝灰质板岩、凝灰角砾岩等。

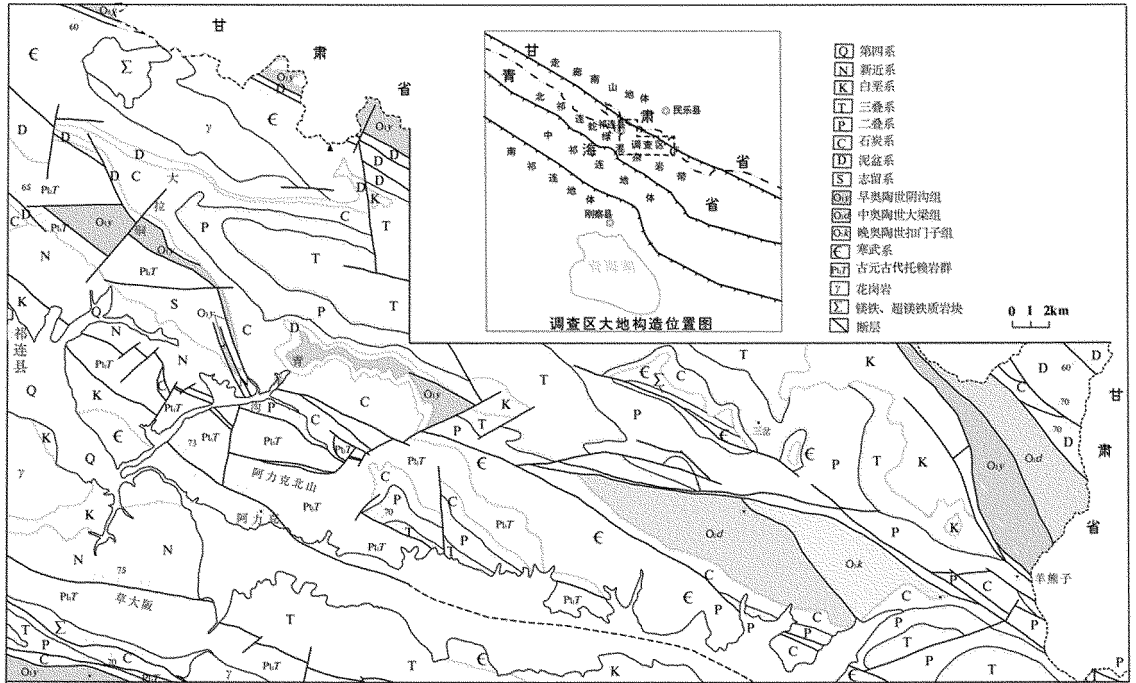


图 1 北祁连阿柔地区奥陶纪火山岩分布略图

2.1.1 岩石类型及岩性特征

变玄武岩:块状构造,斑状结构,基质变余间粒结构。斑晶约 5%,由斜长石、普通辉石组成,其中斜长石呈较规则板柱状,粒度一般 0.2~0.5 mm,见聚片双晶;普通辉石呈短柱状,粒度一般 0.2~0.5 mm,多具暗化边,多色性不明显。基质约 95%,由斜长石、普通辉石、火山玻璃组成,其中斜长石呈细小板条状,粒度一般 0.02~0.04 mm;普通辉石呈粒状—细小小柱状,粒度一般 0.02 mm 左右。火山玻璃脱玻化强烈。

变凝灰角砾岩:块状构造,变余凝灰、角砾结构。由凝灰质(30%)、角砾(55%)、胶结物(15%)组成。凝灰质为次棱角状,粒度 0.2~1.5 mm,成分为玄武安山质火山岩岩屑。角砾为次棱角状,粒度 0.5~2.5cm,成分为玄武安山岩。胶结物成分为火山尘,多已重结晶为绿泥石、绢云母。

绿泥绢云片岩:片状构造,鳞片粒状变晶结构。由石英(15%)、绿泥石(35%)、绢云母(45%)、方解石(5%)组成。石英:粒状,粒度一般 0.05~0.1 mm,

波状消光。绿泥石为鳞片状,粒度一般 0.1mm 左右,长轴定向分布。方解石:粒状,粒度一般 0.1~0.3 mm。绢云母为鳞片状—纤维状,粒度一般 0.1 mm 左右,长轴定向分布。该岩原岩为凝灰岩,经动热变质达到绿片岩相。

凝灰质板岩:板状构造,变余凝灰质结构。由凝灰质岩屑(80%)、胶结物(20%)组成。灰质岩屑:主要为中酸性(安山质)火山岩岩屑,次棱角状为主,粒度一般 0.1~1 mm,绢云母化蚀变强烈。胶结物原为火山尘,已重结晶为绢云母。

2.1.2 岩石化学特征

奥陶纪地层采集了火山岩岩石样品,分析及计算结果见表 1、表 2、表 3,微量元素、稀土元素测试结果见表 4、表 5。据测试结果^①,对区域奥陶纪火山岩地球化学特征及演化规律探讨如下。

成分特征:样品在火成岩 TAS 分类图解(图 2)

① 徐均强、徐伟祥等,青海省祁连县阿柔地区 J47E011018 等四幅 1:5 万区域地质矿产调查报告,2014 年。

分布于 U1 (碧玄岩) 区, 为基性火山岩。凝灰岩 SiO₂ 含量 43.94%, 属于基性火山碎屑岩。

碱度类型: 据表 2 里特曼指数 σ 值为 26.60, 碱度类型为碱性。在火山岩硅-碱图 (图 3) 中, 样品也落入 A 区 (碱性岩)。

表 1 奥陶纪火山化学成分分析结果

地质体	扣门子组					阴沟组
岩石名称	玄武岩	玄武岩	玄武安山岩	玄武岩	凝灰岩	凝灰岩
野外编号	GS066-1	GS16-1	GS034-1	GS072-1	GS032-1	GS104-1
SiO ₂	48.14	43.66	51.41	48.29	43.83	43.94
TiO ₂	2.07	0.7	2	1.11	0.9	0.93
Al ₂ O ₃	15.43	13.84	13.39	15.03	14.69	15.65
Fe ₂ O ₃	4.11	3.17	5.83	4.96	2.66	1.93
FeO	6.39	3.02	6.72	3.52	7.44	7.04
MnO	0.18	0.11	0.2	0.13	0.16	0.21
MgO	5.35	3.22	4.67	5.94	4.55	8.47
CaO	5.73	15.92	6.4	6.6	9.36	7.03
Na ₂ O	5.11	5.58	4.82	6.08	5.73	3.59
K ₂ O	1.65	0.11	0.2	0.43	0.24	1.41
P ₂ O ₅	0.7	0.16	0.28	0.26	0.13	0.15

表 2 奥陶纪火山岩参数

地质体	扣门子组					阴沟组
野外编号	GS066-1	GS16-1	GS034-1	GS072-1	GS032-1	GS104-1
岩石名称	玄武岩	玄武岩	玄武岩	玄武岩	凝灰岩	凝灰岩
里特曼指数 (σ)	8.89	49.05	3	8.01	42.94	26.6
碱度 (AR)	1.94	1.47	1.68	1.86	1.66	1.57
分异指数 (DI)	53.23	40.49	46.88	52.45	41.8	38
固结指数 (SI)	23.66	21.32	21	28.38	22.07	37.8
长英指数 (FL)	54.12	26.33	43.96	49.66	38.94	41.6
铁镁比 (M/F)	0.92	0.95	0.68	1.3	0.81	1.68
氧化度 (ox)	0.58	0.62	0.6	0.58	0.61	0.64

化学成分演化规律: 区内火山岩总体随着 SiO₂ 含量的增加, TiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃ + FeO 含量有所增加, 岩石化学参数 DI, AR 增加, 而 SI 减少。

微量元素特征: 微量元素原始地幔标准化分布模式图 (图 4), 与维氏基性岩相比较, 除 Au, Ag, Ba 元素偏高, 其他元素多偏低, 其特征与岛弧拉班玄武岩相似。

稀土元素特征: 稀土元素球粒陨石标准化图解见图 5。稀土元素总量 $\Sigma REE = 67.84 \times 10^{-6}$, $\Sigma LREE / \Sigma HREE = 3.69$, La/Yb = 4.20, $\delta Eu = 1.15$,

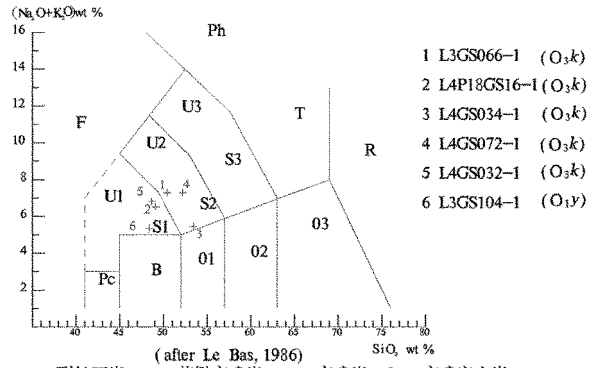


图 2 奥陶纪阴沟组扣门子组火山岩 TAS 分类图解
F—副长石岩, Pc—苦橄玄武岩, B—玄武岩, O1—玄武安山岩, O2—安山岩, O3—英安岩, S1—粗面玄武岩, S2—玄武粗安岩, S3—粗安岩, T—粗面岩、粗面英安岩, R—流纹岩, U1—碧玄岩、碱玄岩, U2—响岩质碱玄岩, U3—碱玄质响岩, Ph—响岩

图 2 奥陶纪阴沟组扣门子组火山岩 TAS 分类图解

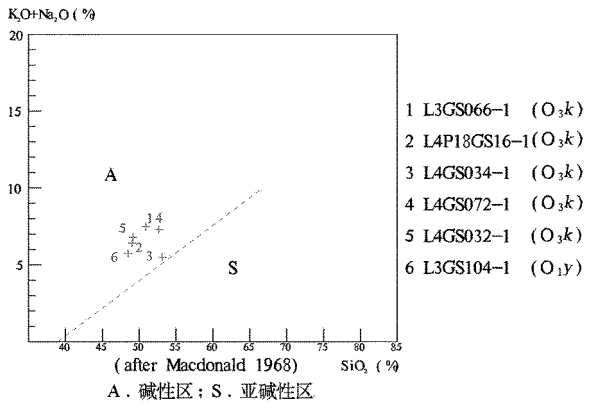


图 3 奥陶纪阴沟组扣门子组火山岩硅-碱图解
A. 碱性区; S. 亚碱性区

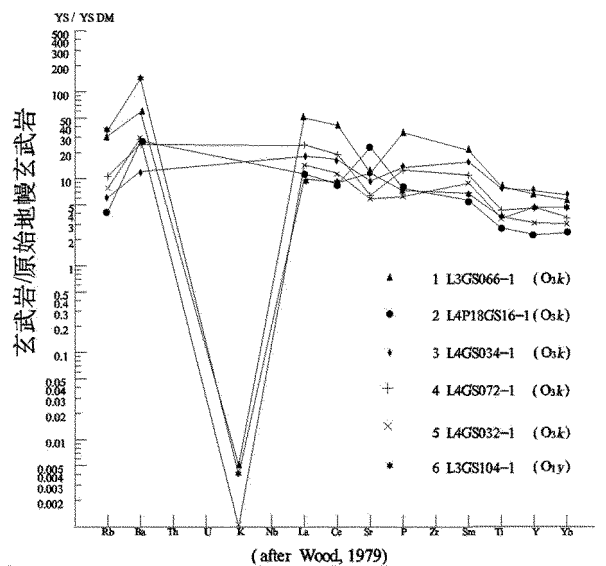


图 4 火山岩微量元素原始地幔标准化分布模式图

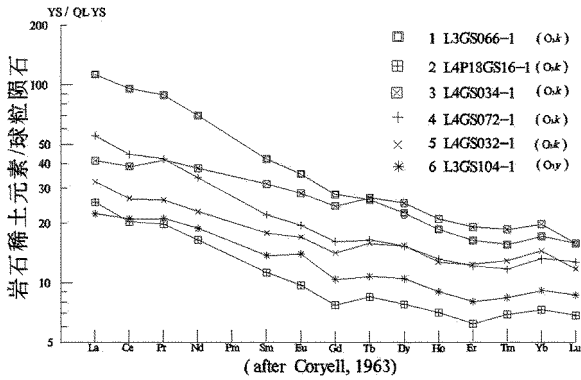
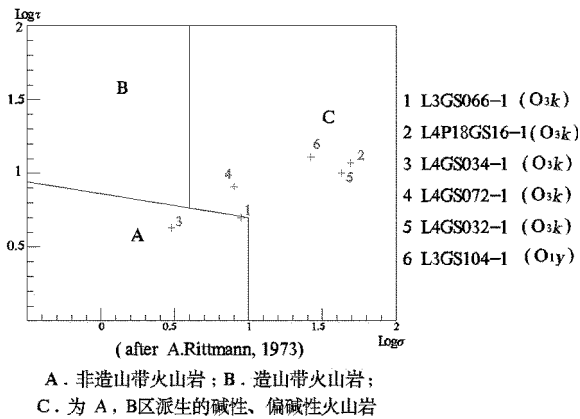


图5 奥陶纪火山岩稀土元素球粒陨石标准化图解

为具正 Eu 异常、轻稀土富集型。

构造地质背景:在里特曼-戈蒂里图解(图6)中样品投点落于造山带火山岩派生的碱性、偏碱性火山岩区(C区),区内火山岩主要处于伸展构造环境,显示早奥陶世洋脊扩张的演化特征^[6]。



A. 非造山带火山岩; B. 造山带火山岩;
C. 为 A, B 区派生的碱性、偏碱性火山岩

图6 奥陶纪火山岩里特曼-戈蒂里图解

2.2 晚奥陶世火山岩岩石学特征

晚奥陶世扣门子组火山岩出露龙孔大阪以东至三角城沟,岩性主要有变玄武安山质凝灰岩、变玄武安山质含角砾凝灰岩、变玄武安山质凝灰角砾岩、玄武安山质集块角砾岩、变杏仁状玄武岩、变流纹岩、变玄武岩、变气孔状玄武岩等。

2.2.1 岩石类型及岩性特征

变含杏仁状安山岩:块状构造、含杏仁状构造,斑状结构、基质变余交织结构。斑晶约 15%,由斜长石、辉石组成。杏仁总体约占 10%,多为较规则椭圆状,一般 0.2~5 mm,其中充填物为方解石和硅质,长轴定向性不明显。斑晶由斜长石、辉石组成,斜长石为较规则板柱状,粒度一般 0.2~0.5 mm,表

面碳酸盐化蚀变强烈。辉石为短柱状,粒度一般 0.2~0.3 mm,多具暗化边,多色性不明显。基质由斜长石、辉石、火山玻璃组成,斜长石为细小板条状,粒度一般 0.02~0.04 mm,与火山玻璃形成交织结构。辉石为短柱状,粒度一般 0.02 mm 左右。火山玻璃多已重结晶为显微粒状绿泥石和长英质矿物。

变安山玄武岩:块状构造,斑状结构,基质变余间隐结构、交织结构。斑晶约 5%,由斜长石(3%)、普通辉石(2%)组成。斜长石为较规则板柱状,粒度一般 0.2~0.5 mm,测 An 为 50,属于拉长石。普通辉石为短柱状,粒度一般 0.2~0.3 mm,多具暗化边,多色性不明显。基质约 85%,斜长石为细小板条状,粒度一般 0.02~0.04 mm,与火山玻璃形成间隐结构、交织结构。普通辉石为细小短柱状,粒度一般 0.02 mm 左右。火山玻璃:脱玻化强烈,多已重结晶为显微粒状绢云母、绿泥石等矿物。

变含气孔杏仁状安山岩:块状构造、含气孔杏仁状构造,斑状结构、基质变余交织结构。气孔总体约占 5%,较规则椭圆状,一般 0.5~3 mm。杏仁总体约占 10%,多为较规则椭圆状,一般 0.2~5 mm,充填物为方解石和硅质。气孔和杏仁长轴定向性均不明显。斑晶约 5%,由斜长石、角闪石组成,斜长石为较规则板柱状,粒度一般 0.2~0.5 mm,表面碳酸盐化蚀变强烈。角闪石为片柱状,粒度一般 0.2~0.3 mm,多具暗化边,多色性不明显。基质约 95%,由斜长石、角闪石、火山玻璃组成。

变凝灰角砾岩:块状构造,变余凝灰、角砾结构。由凝灰质(35%)、角砾(50%)、胶结物(15%)组成。凝灰质为次棱角状,粒度 0.1~1.5 mm,成分为玄武安山质。角砾为次棱角状,粒度 0.5~2.5 cm。凝灰质岩屑:流纹质火山岩岩屑,次棱角状为主。胶结物原为火山尘,已重结晶为微粒状。

变玄武安山质角砾凝灰岩:块状构造,变余凝灰、角砾结构。成分由凝灰质(55%)、角砾(30%)、胶结物(15%)组成。凝灰质:次棱角状,粒度 0.1~1.5 mm,成分为玄武安山质火山岩岩屑。角砾为次棱角状,粒度 0.5~2.5 cm。胶结物:成分为火山尘,多已重结晶为绿泥石、长英质等矿物。

变凝灰角砾岩:块状构造,变余凝灰、角砾结构。由凝灰质(35%)、角砾(50%)、胶结物(15%)组成。凝灰质为次棱角状,粒度 0.1~1.5 mm,成分为玄武安山质火山岩岩屑。角砾为次棱角状,粒度 0.5~

2.5cm, 成分为玄武安山岩。胶结物成分为火山尘。

2.2.2 岩石化学特征

据奥陶纪火山岩岩石样品化学分析计算结果

(表 1、表 2、表 3), 微量元素、稀土元素测试结果(表 4、表 5), 扣门子组火山岩地球化学特征及演化规律探讨如下。

表 3 奥陶纪火山岩 CLPW 标准矿物

地质体	野外编号	CIPW 标准矿物													
		Or	Ab	An	Wo	Di	En	Fs	Hy	Q	Ap	Il	Mt		
扣门子组	L3GS066-1	9.75	27.78	14.29	4.18	8.06	2.78	1.10					1.53	3.93	5.96
	L4P18GS16-1	0.65	21.77	12.39	12.89	25.0	8.02	4.10					0.35	1.33	3.35
	L4GS034-1	1.18	40.79	14.31	6.60	12.8	3.95	2.31	12.18	2.96	0.61	3.80	7.16		
	L4GS072-1	2.54	39.18	12.45	7.84	15.0	5.51	1.66					0.57	2.11	5.03
	L4GS032-1	1.42	21.39	13.65	12.37	26.4	6.84	6.20					0.28	1.71	3.86
阴沟组	L3GS104-1	8.33	20.76	22.42	4.83	9.35	3.05	1.47				0.33	1.77	2.80	

表 4 奥陶纪火山岩微量元素定量光谱分析结果

地质体	样品编号	微量元素含量 10^{-6} ; K 为 %; Au, Ag 为 10^{-9}																
		Au	Ag	Cu	Pb	Zn	Sr	Nb	W	Mo	Ba	Rb	K	Y	La	Ce	Sm	Yb
O ₃ k	L3GP066-1	1.62	70.8	25.3	22.2	75.6	270.2	0.76	2.90	0.67	445.1	26.5	1.20	32.27	35.50	77.62	8.09	3.14
	L4P18GP16-1	1.21	57.2	74.7	7.5	45.5	529.3	0.82	0.8	0.31	204.7	3.60	0.04	11.14	8.02	16.53	2.16	1.34
	L4GP034-1	1.02	36.9	18.2	5.7	50.1	217.4	1.90	1.62	0.88	92.4	5.2	0.10	35.55	13.00	31.48	6.06	3.62
	L4GP072-1	1.25	69.3	70.2	6.9	73.4	148.7	1.50	1.36	0.46	187.3	9.2	0.28	22.64	17.43	36.12	4.23	2.42
	L4GP032-1	1.39	45.1	94.3	4.6	80.1	136.1	1.40	1.74	0.39	224.6	6.7	0.14	22.89	10.18	21.69	3.43	2.65
O ₁ y	L3GP104-1	0.96	621.0	195.0	363.0	144.1	266.5	1.00	2.72	0.45	1085.4	31.4	0.92	15.23	7.01	17.10	2.63	1.67

表 5 奥陶纪火山岩稀土元素含量

地质体	样品号	稀土元素含量 (10^{-6})														ΣREE	LREE	HREE	LREE/HREE	δEu	(La/Sm) _N	La/Yb	
		La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu								Y
O ₃ k	L3XT066-1	35.5	77.62	10.19	41.8	8.09	2.56	7.24	1.24	7.29	1.34	3.48	0.52	3.14	0.51	32.3	232.8	175.78	24.76	7.1	1	2.76	11.31
	L4P18XT16-1	8.02	16.53	2.27	9.84	2.16	0.7	2	0.4	2.53	0.51	1.32	0.23	1.34	0.22	11.1	59.24	39.52	8.55	4.62	1.01	2.33	5.99
	L4XT034-1	13	31.48	4.78	22.6	6.06	2.04	6.33	1.27	8.19	1.52	4.07	0.62	3.62	0.51	35.6	141.7	80	26.13	3.06	1	1.35	3.59
	L4XT072-1	17.43	36.12	4.83	20.3	4.23	1.41	4.19	0.78	4.96	0.95	2.58	0.39	2.42	0.41	22.6	101	84.33	16.68	5.06	1.01	2.59	7.2
	L4XT032-1	10.18	21.69	3.01	13.7	3.43	1.23	3.66	0.75	5.01	0.92	2.63	0.43	2.65	0.38	22.9	92.52	53.2	16.43	3.24	1.05	1.87	3.84
O ₁ y	L3XT104-1	7.01	17.1	2.43	11.2	2.63	1.01	2.7	0.51	3.41	0.65	1.71	0.28	1.67	0.28	15.2	67.84	41.4	11.21	3.69	1.15	1.71	4.2

成分特征: 所取样品在火成岩 TAS 分类图解中(图 2), 投影点分布于 S1 区(粗玄武岩)和 S2 区(玄武粗安岩), 为中基性火山岩。玄武岩 SiO₂ 含量 43.66%~48.29%, 属于基性岩类。与黎彤等的中国主要岩浆岩种类的玄武岩平均化学成分比较, SiO₂, TiO₂, MgO, FeO, MnO, K₂O 含量偏低, Al₂O₃, Fe₂O₃, Na₂O, CaO 含量偏高。凝灰角砾岩 SiO₂ 含量 43.83%, 属于基性火山碎屑岩。

碱度类型: 从表 2 可知, 里特曼指数 σ 值为 3.00~49.05, 显示碱度类型多为碱性, 次为碱钙性, 个别为钙碱性。在火山岩硅-碱图中(图 3), 样品落入 A 区(碱性岩)。

化学成分演化规律: 区内火山岩总体随着 SiO₂ 含量的增加, TiO₂, Fe₂O₃ + FeO 含量有所增加, 而 Al₂O₃, CaO, Na₂O, K₂O, MnO, MgO 含量有所减少,

岩石化学参数 DI, AR 增加, 而 SI 减少。随 SiO₂ 含量的增加, 岩石的分异指数明显增加, 这一变化特点符合从基性—酸性分异程度渐高的变化规律。这种规律从火山岩的固结指数(SI)的变化趋势中亦能得到证实, 二者呈反相关, 即 DI 高则 SI 低, 反之 DI 低则 SI 高。区内 SI 值均小于 40, 说明均系幔源原生岩浆经分异同化作用形成的。

微量元素特征: 与维氏基性岩相比较, 除 Au, Ag 元素偏高, 其他元素多偏低, 其特征与岛弧拉班玄武岩相似(图 4)。

稀土元素特征: 稀土元素总量变动较大, ΣREE = (59.24~232.81) × 10⁻⁶, ΣLREE/ΣHREE = 3.06~7.01, La/Yb = 3.59~11.31, δEu = 1.00~1.05, 多为具弱正 Eu 异常轻稀土富集型(图 5)。

构造地质背景: 在里特曼-戈蒂里图解中(图

6), 样品投点主要落于 C 区, 个别落于 A 区。与早奥陶世火山岩差异明显, 显示其形成的大地构造环境不同, 晚奥陶世火山岩形成于挤压碰撞构造环境, 显示晚奥陶世大洋俯冲闭合的演化特征^[6]。

3 奥陶纪火山岩岩相、喷发旋回划分

3.1 奥陶纪火山岩岩相

根据火山岩组合特征、产出形态及形成条件等因素, 将区域火山岩分为爆发相、喷溢相、喷发-沉积相(表 6)。

表 6 主要火山岩岩相、岩石类型及产状

时代	喷发期	岩相	主要岩石类型	产出状态
奥陶纪	晚奥陶世	喷溢相	含杏仁状安山岩、气孔状玄武岩、含杏仁状玄武岩、含气孔杏仁状安山岩、玄武安山岩	气孔状、块状, 岩被状产出
		爆发相	流纹质熔结凝灰岩、玄武安山质角砾凝灰岩、玄武安山质凝灰岩、玄武安山质集块角砾岩	层状, 裂隙式火山口附近侧落堆积
		喷发-沉积相	硅质板岩、变粉砂质砂岩、变细粒长石砂岩	层状, 滨海相沉积
	早奥陶世	喷溢相	玄武岩	块状, 岩被状产出
		爆发相	凝灰岩	层状, 裂隙式火山口附近侧落堆积
		喷发-沉积相	粉砂质板岩、硅质板岩、细粒长石砂岩	层状, 滨海-浅海相沉积

(1) 爆发相: 火山强烈爆发时形成的集块至凝灰级碎屑物, 以不同方式堆积, 形成各种粒级的火山碎屑岩, 是区内较为常见的火山岩相。按火山物质堆积方式分为为崩落堆积、空落堆积 2 种。

①崩落堆积: 主要分布于北山大乌西北、三角城沟—德芒寺一带, 羊熊子和龙孔大坂偶见分布。由玄武安山质集块角砾岩、玄武安山质角砾熔岩、玄武安山质凝灰角砾岩、角砾流纹质凝灰角砾岩等粗火山碎屑岩构成。该岩相主要见扣门子组, 在阴沟组局部也可见到。

②空落堆积: 最常见的火山碎屑物质堆积方式, 岩性主要为凝灰岩、熔结凝灰岩、凝灰质板岩、角砾凝灰岩等, 层理较强, 是区内分布最广的火山岩, 在阴沟组、扣门子组均有分布。

(2) 喷溢相。喷溢的熔岩流, 分布广泛, 岩性主要有气孔杏仁状玄武岩、玄武安山岩、安山岩、流纹岩等, 单层厚度达数米, 横向变化大。该岩相主要见

于扣门子组, 在阴沟组局部也有其夹层。

(3) 喷发-沉积相。该相呈层状产于火山喷发间歇期内, 是火山作用叠加沉积作用的产物, 岩性主要为灰绿色凝灰质长石砂岩、硅质板岩。

3.2 奥陶纪火山岩喷发旋回

火山活动的发生和演化常具有阶段性, 具体表现为火山产物的旋回性、韵律性^[7-8]。据区域火山活动特点及火山作用物质成分、喷发方式及强度的周期性变化, 结合喷发间断, 将区内奥陶纪火山岩划分为 2 个火山喷发旋回, 每个旋回在级别上相当于组级地层单位。

3.2.1 早奥陶世阴沟旋回

阴沟组分布于西部大马拉河、中部青羊沟、东部羊熊子西北, 岩性各地变化较大, 中部青羊沟一带为灰绿色变凝灰岩; 八宝河南为一套灰绿色正常碎屑岩组合夹少量玄武岩; 东部羊熊子西北以正常碎屑岩与硅质板岩、凝灰质板岩等互层为主, 地层中有超镁铁质岩构造岩块夹层(图 7)。

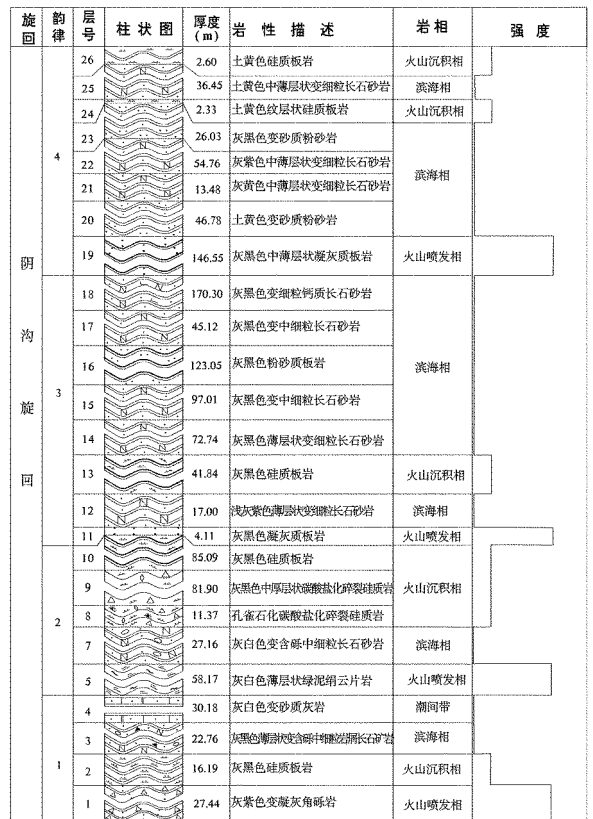


图 7 早奥陶世阴沟旋回火山活动特征

阴沟组发育不完整, 多呈断片状出露, 底部出露

不全,根据实测剖面观察,除碎屑沉积岩外,还有火山活动,但总体上与区域上该组特征有所差异,沉积岩更发育。根据对其中硅质岩的研究,火山岩产生于裂隙式火山作用,沉积环境为浅海相。主要对其火山活动旋回性进行探讨。

据羊熊子阴沟组典型剖面(图 7),地层岩性自下而上火山活动逐渐减弱,下部滨海相碎屑沉积为主,次为浅海相火山沉积,发育变砂岩、变含砾砂岩、硅质板岩等。向上主要为滨海相沉积仅局部发育浅海相火山沉积,岩性以变砂岩为主。总体上水体较浅,以滨海相沉积为主,次为浅海相等。

火山岩从下到上,由中基性-中酸性一个较完整的火山旋回,火山活动划分为 4 个沉积韵律,分别为:①灰紫色凝灰质角砾岩—硅质板岩、长石砂岩;②绿泥绢云片岩(变凝灰岩)—硅质板岩、长石砂岩;③灰黑色凝灰质板岩—硅质板岩、长石砂岩;④灰黑色凝灰质板岩—硅质板岩、长石砂岩。

3.2.2 晚奥陶世扣门子旋回

扣门子组在该区仅在三角城沟—德芒寺出露,为一套火山碎屑岩为主夹中基性火山熔岩的岩石组合,局部出现的硅质板岩、粉砂岩代表火山活动间歇期的滨海—浅海相沉积环境。

据三角城沟扣门子组典型剖面(图 8),早期火山活动形成由喷发、爆发相—喷发沉积相组成沉积韵律;中后期火山活动形成由喷发相、爆发相—溢流相组成沉积韵律;顶部以喷发相为主夹少量正常碎屑沉积岩。共形成 13 个火山岩沉积韵律,分别为:①玄武安山质凝灰岩夹含角砾凝灰岩—硅质板岩;②玄武安山质凝灰岩—硅质板岩;③玄武安山质凝灰岩—硅质板岩;④玄武安山质凝灰岩、凝灰角砾岩、集块角砾岩—灰黑色含杏仁状玄武岩;⑤玄武安山质集块角砾岩、凝灰岩—灰黑色玄武岩;⑥玄武安山质凝灰岩—灰绿色含气孔状玄武岩;⑦玄武安山质集块角砾岩—灰黑色玄武岩;⑧玄武安山质集块角砾岩—灰绿色含气孔状玄武岩;⑨玄武安山质角砾凝灰岩—灰绿色含杏仁状玄武岩;⑩玄武安山质角砾凝灰岩—灰绿色玄武岩;⑪玄武安山质凝灰岩—灰黑色玄武岩;⑫玄武安山质凝灰岩—灰绿色气孔状玄武岩;⑬玄武安山质角砾凝灰岩、凝灰岩夹少量粉砂岩。

旋回	韵律	层号	柱状图	厚度 (m)	岩性描述	岩相	强度
报	13	1		292.40	变凝灰岩	火山沉积相	
		2		15.41	灰黄色变玄武安山质角砾凝灰岩	火山爆发相	
		3		8.90	灰黄色变流纹细纹凝灰岩	火山爆发相	
		4		4.24	灰黄色变薄层状粉砂岩	滨海相	
		5		23.11	灰黄色变流纹质细凝灰岩	火山爆发相	
		6		17.78	灰绿色变玄武安山质凝灰岩	火山爆发相	
		7		12.52	灰绿色变玄武安山质角砾凝灰岩	火山爆发相	
		8		3.72	灰绿色含气孔状玄武岩	火山溢流相	
		9		5.57	灰绿色变玄武安山质凝灰岩	火山爆发相	
		10		4.92	灰绿色变玄武岩	火山溢流相	
		11		33.31	灰绿色变玄武安山质凝灰岩	火山爆发相	
门	8	12		33.85	灰绿色变玄武岩	火山溢流相	
		13		63.53	灰绿色变玄武安山质角砾凝灰岩	火山爆发相	
		14		6.23	灰绿色变杏仁状玄武岩	火山溢流相	
		15		13.52	灰绿色变玄武安山质角砾凝灰岩	火山爆发相	
		16		144.00	灰绿色变含气孔状玄武岩	火山溢流相	
		17		49.38	灰—灰绿色变玄武安山质集块角砾岩	火山爆发相	
		18		66.65	灰绿色变玄武岩	火山溢流相	
		19		98.71	浅灰—灰绿色变玄武安山质集块角砾岩	火山爆发相	
		20		49.43	灰绿色变玄武安山质凝灰岩	火山爆发相	
		21		9.72	灰黄色变流纹质凝灰岩	火山爆发相	
		22		133.77	灰绿色变玄武安山质凝灰岩	火山爆发相	
子	7	23		13.74	灰绿色变含气孔状玄武岩	火山溢流相	
		24		47.96	灰绿色变玄武安山质凝灰岩	火山爆发相	
		25		42.82	灰黄色变流纹岩	火山溢流相	
		26		11.11	灰黑色变流纹岩	火山溢流相	
		27		39.19	灰黄色变流纹质凝灰岩	火山爆发相	
		28		126.56	灰绿色变玄武安山质凝灰岩	火山爆发相	
		29		64.94	灰绿色变玄武安山质集块角砾岩	火山爆发相	
		30		12.30	灰黑色变杏仁状玄武岩	火山溢流相	
		31		45.61	灰绿色变玄武安山质集块角砾岩	火山爆发相	
		32		125.03	灰绿色变玄武安山质角砾凝灰岩	火山爆发相	
		33		61.78	灰绿色变玄武安山质凝灰岩	火山爆发相	
34		123.84	灰绿色变玄武安山质角砾凝灰岩	火山爆发相			
旋	5	35		142.55	灰绿色变玄武安山质凝灰岩	火山爆发相	
		36		36.14	灰绿色变玄武安山质角砾凝灰岩	火山爆发相	
		37		54.77	灰绿色变玄武安山质凝灰岩	火山爆发相	
		38		52.97	浅灰色纹层状硅质板岩	火山沉积相	
		39		97.39	灰绿色变玄武安山质凝灰岩	火山爆发相	
		40		19.79	灰白色硅质板岩	火山沉积相	
		41		108.13	灰绿色变玄武安山质凝灰岩	火山爆发相	
		42		6.06	深灰色硅质板岩	火山沉积相	
		43		69.62	灰绿色变玄武安山质凝灰岩	火山爆发相	
		44		24.51	灰绿色变玄武安山质角砾凝灰岩	火山爆发相	
		45		86.85	灰绿色变玄武安山质凝灰岩	火山爆发相	

图 8 晚奥陶世扣门子旋回火山活动特征

4 结语

(1)阿柔地区奥陶纪阴沟组火山岩岩性变化较大,中部青羊沟一带为灰绿色变凝灰岩;八宝河南为一套灰绿色正常碎屑岩组合夹少量玄武岩;东部羊胸子西北以正常碎屑岩与硅质板岩、凝灰质板岩等互层为主。扣门子组为一套火山碎屑岩为主夹中基性火山熔岩的岩石组合。

(2)据岩石化学特征判断,奥陶纪火山岩形成环境不同。早奥陶世火山岩形成于伸展构造环境,晚奥陶世火山岩形成于挤压碰撞构造环境。二者反映了祁连洋(裂谷)从开始发育到闭合的演化特征。

(3)奥陶纪火山岩划分为2个火山喷发旋回。早奥陶世阴沟旋回火山活动划分4个沉积韵律。晚奥陶世扣门子旋回火山活动划分13个沉积韵律。

参考文献:

- [1] 赵以汉.青海北部构造与矿产[A]//青藏高原地质文集第十四辑[C].北京:地质出版社,1984:61-66.
- [2] 孙崇仁,陈国隆,李璋荣.青海省岩石地层[M].武汉:中国地质大学出版社,1997:7-77.
- [3] 徐均强,徐伟祥,杜韦,等.北祁连拉超超基性岩体铬尖晶石特征研究及找矿方向[J].山东国土资源,2014,30(4):49-54.
- [4] 徐学义,李向民.祁连山及邻区成矿地质背景图说明书[M].北京:地质出版社,2009:4-8.
- [5] 董必谦,邱凤岐.北祁连蛇绿岩套和蛇绿混杂岩的特征及其地质构造意义[A]//青藏高原地质文集第十四辑[C].北京:地质出版社,1984:224-229.
- [6] 赖绍聪,邓晋福,赵海铃.北祁连奥陶纪洋脊扩张速率及古洋盆规模的岩石学约束[J].矿物岩石,1997,(1):35-39.
- [7] 邱家骧.火山岩相及其主要特征[J].地质科技情报,1984,(2):49-56.
- [8] 傅树超,卢清地.陆相火山岩区填图方法研究新进展[J].地质通报,2010,29(11):1640-1648.

Study on Petrological Characteristics and Eruption Cycles of Ordovician Volcanic Rocks in Arou Area of North Qilian Mountain

XU Weixiang¹, XU Junqiang¹, ZHANG Kai¹, DU Wei²

(1. No.4 Exploration Institute of Geology and Mineral Resources, Shandong Weifang 261021, China; 2. Shandong Geological Surveying and Mapping Institute, Shandong Jinan 250002, China)

Abstract: Ordovician volcanic rocks are widely distributed in Arou area of north Qilian mountain. It is developed in early Ordovician Yingou group and late Ordovician Koumenzi group. Distribution characteristics and petrological characteristics of Ordovician volcanic rocks in Arou area of north Qilian mountain have been studied. Three types of volcanic lithofacies have been divided, they are eruption facies, eruption facies and eruption-sedimentary facies, and two volcanic eruption cycles as Yingour cycle and Koumenzi cycle have been divided as well. Qilian oceanic (rift) evolution characteristics in Arou area of north Qilian mountain has been revealed. It has certain significance for guiding the contrast between volcanic region of north Qilian mountain and recovery of volcanic body.

Key words: Ordovician volcanic rocks; rock characteristics; eruption cycle; Arou area of north Qilian mountain