

山西垣曲中元古代枕状熔岩的研究

张德全 乔秀夫

周科子

(中国地质科学院地质研究所)

(中国地质科学院矿床地质研究所)

前言

山西东南部垣曲一带,广泛分布一套中元古界火山岩系—西洋河群。岩性以安山岩、玄武安山岩为主,夹有少量的正常沉积岩(砂页岩)。由老到新分为三个组:许山组、鸡蛋坪组和马家河组。厚度可达5200米^①。其中某些层位为枕状熔岩。其分布概况和采样位置如图1所示。全岩Rb-Sr等时线年龄值为14.5亿年, Sr⁸⁷/Sr⁸⁶ 初始值为0.707。笔者对垣曲朱家庄许山组和皋落鸡

蛋坪组的枕状熔岩进行了岩石学研究。现将有关问题简述如下。

一、枕状熔岩的地质特征和外貌特征

在许山组和鸡蛋坪组的底部或下部都有枕状熔岩(或枕状集块岩)产出。许山组的枕状熔岩分布于朱家庄、槐树庄等地,厚2—10米,共有两个层位。其一紧邻担山石组接触面(图版I—1),岩性特点是枕体含量较少(25.4%—47.7%),个体小(长径一般小于1米),并常混杂有火山碎屑物(火山集块、角砾、凝灰质等)。当后者含量多时则过渡为枕状集块岩(图版I—4)。另一层位稍高,仅在朱家庄所见,厚2.5—3.5米。其底板为灰黑色块状玄武安山岩,顶板为紫红色隐晶质安山岩。此层枕状熔岩的特点是枕体大(长径多为2—4米),枕体含量高(可达82%,其余为胶结物。图版I—2)。

鸡蛋坪组的枕状熔岩(或枕状集块岩)分布于皋落、磨凹、下金屯等地,厚度约5—15米,以磨凹出露较全。其层序由老至新为(1)安山岩(许山组), (2)页岩, (3)砂岩, (4)灰绿色玄武安山岩, (5)枕状熔岩(5米), (6)灰绿色玄武安山岩。((2)—(6)为鸡蛋坪组。)在皋落,

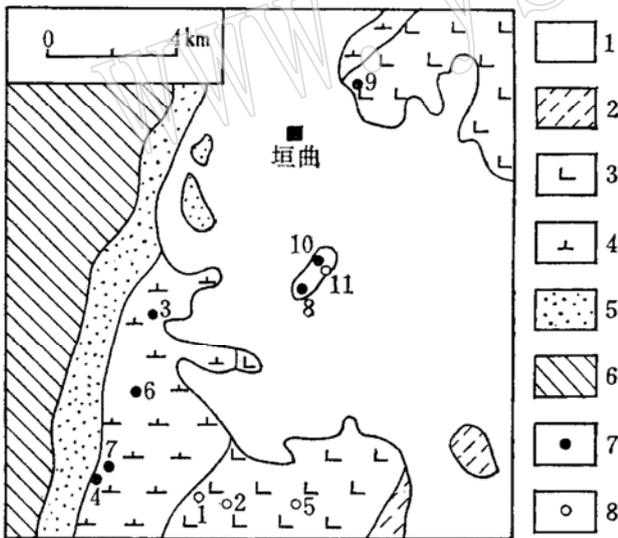


图1 山西垣曲地区地质略图
Fig 1 Geological sketch of the Yuanqu district, Shanxi.

1—上第三系和第四系; 2—西洋河群马家河组安山岩; 3—西洋河群鸡蛋坪组安山岩; 4—西洋河群许山组安山岩和玄武岩; 5—中元古界担山石组(砾岩、石英砂岩); 6—下元古界中条群(片岩、千枚岩); 7—西洋河群枕状熔岩取样及枕体含量统计点; 8—西洋河群块状熔岩取样点。

① 据山西区测队

由于覆盖,地层出露不全,仅见枕状集块熔岩、枕状熔岩、灰绿色玄武安山岩。在下金屯,其层序大致可与磨凹对比:页岩、砂岩、安山岩、枕状熔岩(15米)、灰绿色玄武安山岩。

枕状体的切面形态多为圆形、椭圆形、少数为扁圆形、葫芦形、哑铃形等(图版 I—2、3、4、6)。枕体一般长0.3—1米,最大的长约5米。经7个点、276个枕体的统计,其平均密度为1.5个/m²(变化范围0.48—3.5个/m²),枕体平均含量为46.7%(枕体面积与统计面积之比),变化范围25.4—82%。枕体切面形态以椭圆形的占优势。若以地层组进行比较,则以许山组的枕体要大些(详见表1)。枕体互相较合,有的枕体底面较平,顶微凸,也有相反情况。枕体之间以玻璃质胶结为主,但在一些地方

(如槐树庄等)却为凝灰质胶结。在皋落,枕状熔岩底部逐步过渡为枕状集块熔岩。经统计在一平方米内集块个数为77个,含量为56.6%(集块面积与统计面积之比)。集块大小以10—30厘米者居多,占全部个数的55.8%,余为3—10厘米者。集块的某些特点与枕体不同,多为次角状,无同心构造,有的集块含气孔较多,最多时可达30—50%,氧化较强,它们与少数的枕体混杂在一起。

枕状熔岩之枕体的放射状构造不明显,但同心构造有时较明显,在半风化的露头上,枕体边部颜色略浅(图版 I—3),或者靠近边部杏仁体较多(图版 I—5)。在槐树庄,垂直于枕体延长方向的裂隙十分发育(图版 I—3),说明这些裂隙是在枕体堆积和固化以后曾遭受挤压作用形成。枕体之间的玻璃质的颜色比枕体略深,并常显示环绕

表 1 山西垣曲中元古代枕状熔岩的枕体大小、含量、形态统计表

Table 1 Size, content and shape of pillow in the Middle proterozoic pillow lavas from Yuanqu, Shanxi

层 位		许 山 组					鸡 蛋 坪 组				总 计
点 号		4	7	3	6	小计	10	7	9	小计	
统计面积(M ²)		25	40	33	40	138	14	20	14	48	186
枕体个数		61	19	37	49	166	49	38	23	110	276
枕体密度(个/M ²)		2.4	0.5	1.1	1.2	1.2	3.5	1.9	1.7	2.3	1.5
枕体含量(%) *		25.4	82	47.7	32.0	49.1	50.5	28.7	45.4	39.9	46.7
枕体相对个数	1M	6.6	90.0	35.1	14.3	24.7	2.0	8.0	13.0	6.4	17.4
	0.6—1M	18.0	10.0	32.4	32.7	24.7	14.3	13.0	13.0	13.6	20.3
	0.3—0.6M	27.9	0	24.3	40.8	27.7	69.4	52.6	61.0	61.8	41.3
	0.1—0.3M	47.5	0	8.2	12.2	22.9	14.3	26.4	13.0	18.2	21.0
枕体相对面积	1M	27.4	98.1	67.4	40.9	58.5	5.0	32.0	49.6	28.9	45.8
	0.6—1M	35.8	1.9	25.6	38.0	25.3	27.2	20.3	15.5	21.0	23.5
	0.3—0.6M	25.4	0	6.3	19.4	12.8	62.7	42.3	32.7	45.9	27.0
	0.1—0.3M	11.4	0	0.7	1.7	3.4	5.1	5.4	2.2	4.2	3.7
圆形枕体(长短径比1—1.3)的个数%		23	0	18.9	22.4	19.3	30.6	21.1	43.5	30.0	23.5
椭圆形枕体(长短径比1.4—2)的个数%		52.4	47.4	45.9	53.1	50.6	63.3	55.2	47.8	57.3	53.3
扁圆枕体(长短径比>2.1)的个数%		24.6	52.6	35.2	24.5	30.1	6.1	23.7	8.7	12.7	23.2

* 枕体含量是指枕体切面面积和与统计面积的百分比。单个枕体面积=长径×短径×0.8。

枕体的同心状裂隙, 在半风化露头上可剥开成弧形的薄片。

二、枕体的岩性特征

本区的枕状熔岩, 变质极轻微, 故以火山岩的名称命名。各种蚀变都是在保留原来岩石结构(如斑状)特点的条件下进行的。主要为海水与熔岩作用的结果。现以朱家庄(样号: 7)和皋落(样号: 10)产出的两个枕体为例来说明(表2)。前一枕体切面长2.4米, 上下宽1.2米(图版I—5), 后者长1米, 上下宽0.6米(图版I—6)。枕体

为安山岩或玄武岩。斑晶仅见斜长石(0.9—3.0%), 其个体甚小(长径小于1mm), 具特征的燕尾形, 说明是淬火形成。大部分已绢云母化, 少数为硅化、绿泥石化、帘石化等, 但长石的晶体外形仍保存完好。基质为玻璃质或隐晶质, 多数已变为绿泥石。枕心和枕壳的结晶程度明显不同: 枕心所含的斜长石斑晶个体稍大, 基质的结晶程度略高, 前者多为隐晶质, 或者出现细柱状的铝直闪石(?)晶体, 后者为玻璃质、且常见球粒结构和不规则裂纹。野外目测杏仁体的含量, 以枕体壳的上边部较多。

表2 枕状体的岩性特征简表
Table 2 Petrographic features of the pillows

产地	层位	样号	产出部位	杏仁体 %	斜长石斑晶 %	斜长石斑晶大小 (mm)	基质特征
朱家庄	许山组	7-3	枕壳(上)	20	<1	0.6×0.1	玻璃质
		7-2	枕心	<1	10	0.6×0.2 0.2×0.04	隐晶质
		7-1B	枕壳(下内)	10	2-3	0.5×0.1 0.1×0.02	玻璃质, 具球粒
		7-1A	枕壳(下外)		<0.5	0.3×0.5	玻璃质, 具不规则裂纹
皋落	鸡蛋坪组	10-3	枕壳(上)		<1	0.3×0.05 0.5×0.1 0.6×0.03	玻璃质, 具球粒 隐晶质及铝直闪石晶体(?)
		10-2	枕心		2		
		10-1	枕壳(下)		25	1×0.5 0.5×0.1	玻璃质, 具球粒

三、矿物化学

由于矿物粒径太细, 且大部分已次生变化, 故其成分选用电子探针测定。其结果见表3.4。由表可知:

斜长石 多属钠长石或钠更长石 An 3.6—18%, or 1.6—11.1%, 个别可达42.7%, 可能由于绢云母化等次生作用的影响。SiO₂ 63—68.3%, Al₂O₃ 22.64—27.3%, CaO 0.5—2.12%, Na₂O 0.5—2.12%, K₂O 0.15—4.18%。枕壳与枕心的斜长石成分略有差异, 前者or分子较高(11—42%)后者低

(7.2—11%)。而成分相近的块状熔岩(样号11)其An值和or值均低(An 3.6—3.7%, or 1.6—5.3%)。根据修改后的斜长石温度计计算^[1], 枕壳斜长石(样号10-3)斑晶的淬火温度为891°—1002℃, 平均为950℃。

绢云母(或水白云母) 由斜长石蚀变而成。其主要成分: Al₂O₃ 25.08%, K₂O 10.08%, SiO₂ 43.9%。

绿泥石 薄片下为淡绿色至淡黄绿色, 多色性弱, 成分较稳定。枕心与枕壳中所含的绿泥石, 其成分上无重大差别, 而块状熔岩(样号11)的绿泥石则含镁高(MgO

表4 山西垣曲中元古代火山岩中
球粒、玻璃球晶电子探针分析结果
Table 4 Electronmicroprobe analyses
of spherulite, glass and crystallite in
the Middle Proterozoic Volcanic
rocks from Yuanqu, Shanxi

序号	1	2	3	4	5	6	7
样号	10—2		10—3			11—2	
名称	无色 球晶	无色球粒			褐色 球粒	深色 玻璃	无色 玻璃
SiO ₂	62.69	61.05	60.23	65.89	61.24	48.87	44.28
TiO ₂	0.13	1.00	0.88	0.37	1.09	0.12	3.88
Al ₂ O ₃	21.47	16.49	16.00	18.33	16.25	15.68	13.60
FeO	2.56	5.71	6.47	3.05	3.38	7.38	25.43
MnO	0.11	0.14	0.08	0.06	0.06	0.03	0.62
MgO	0.79	3.33	4.22	1.90	2.44	4.42	2.28
CaO	4.28	5.53	5.27	2.01	4.84	0.77	3.39
Na ₂ O	4.63	0.27	0.28	0.35	0.21	0.72	0.76
K ₂ O	0.39	8.31	8.40	10.07	7.48	9.36	6.53
Cr ₂ O ₃				0.01		0.82	0.22
总计	97.05	101.83	101.83	102.04	96.99	88.17	100.39

17.07—17.99%)、铁低(FeO 24.19—24.33%)。

铝直闪石(?) 薄片下无色,细柱状,纤维状,有时呈放射状排列。正高突起,平行消光,正延性。仅在10—2号薄片中发现,含量约20—30%。其成分接近于富铁的铝直闪石,但CaO稍高,故确切的矿物名称,尚需进一步研究才能肯定。

普通辉石 仅在阜落枕状熔岩的顶板一块状玄武安山岩中发现此矿物。含量约10—20%,薄片下无色。

球粒 为枕壳内层主要组成部分。薄片下观察(样号10—3)可分无色和浅褐色两种。其成分或者无重大差别,或者是色深者含较多的“水”、Mg、Ca,而贫Si、Al、K。主要成分为:SiO₂ 60.23—65.89%,Al₂O₃ 16—18.33%,FeO 3.05—5.71%,MgO 1.9—4.22%,CaO 2.01—5.53%,K₂O 7.48—10.07%。

此外,块状熔岩基质中的玻璃质(样号

11)色深者与色浅者在化学成分上的差异如表4所示,深色玻璃除含SiO₂,Al₂O₃,MgO,K₂O较高外,主要是含“水”较高。

四、岩石化学

表5列出岩石全分析样14个,除包括枕状熔岩的枕体和胶结物外,还列出本区块体熔岩的分析值,便于对比。由表5可知:本区以安山岩和玄武安山岩为主,也有玄武岩和成分更基性的玻璃。其标准矿物成分特点是都出现石英(多数大于5%),大部分岩样还出现“刚玉”。在SiO₂—(FeO)/MgO图(图2)上其投影点多落于TH区。根据Yorder等(1962)^①分类,本区火山岩属拉斑玄武岩系。但是,有一部分样品(1、3、8、9等)的分析值在SiO—(Na₂O+K₂O)图上落入碱性玄武岩投影区。这种现象可作如下解释:(1)由于海水与高热熔岩的相互作用以及长期表生作用的影响,使岩石的碱质增加;(2)玄武岩分类系统标准不统一,特别是SiO₂—(Na₂O+K₂O)图碱性玄武岩全碱含量标准不完全适用于元古代海相熔岩的划分;(3)由于种种因素的影响,拉斑玄武岩系岩石中少数样品亦可表现出碱性玄武岩化学成分上的某些特点。笔者根据本区枕状熔岩的实际矿物(斑晶只出现斜长石)和标准矿物(出现“石英”和“刚玉”)的特征认为它们属拉斑玄武岩系而不属碱性玄武岩系。枕体化学成分随地区和层位不同而略有变化。朱家庄许山组的枕体较基性,SiO₂平均值为49%(4个样),而阜落鸡蛋坪组的枕体则平均为53%(3个样);但MgO含量却相反,前者平均为3.9%,后者为4.6%;(FeO)/MgO前者高,变化大(2.66—4.29),后者低(2左右),且接近于一常数。枕心→枕壳→胶结物的成分变化趋势是

① 见J.Petrol (1962), V.3, p.342—532.

表 5 山西垣曲中元古代火山岩的化学成分表
Table 5 Chemical Composition of the Middle Proterozoic volcanic rocks from Yuanqu, Shanxi

序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
样号	7-1A	7-1B	7-2	7-3	7-4	10-1	10-2	10-3	10-4	10-5	11-2	1	2	5	
岩石名称	玄武岩	安山岩	玄武岩	玄武岩	玻质	安山岩	玄武岩	玄武岩	玻质	玄武安山岩	玄武安山岩	粗安岩	玄武安山岩		
产状	枕壳(下)	枕壳(下内)	枕心	枕壳(上内)	胶结物	枕壳(下)	枕心	枕壳(上)	胶结物						
SiO ₂	42.74	57.32	50.58	45.52	54.56	57.94	55.42	49.72	45.68	35.44	54.08	54.98	56.76	53.96	
TiO ₂	1.80	1.80	1.80	1.75	0.75	1.00	1.05	1.05	1.10	1.45	1.25	1.40	1.60	1.30	
Al ₂ O ₃	15.47	14.46	15.13	12.64	10.66	14.82	13.81	16.89	16.15	14.98	14.36	14.56	14.94	14.27	
Fe ₂ O ₃	12.80	6.92	7.86	9.86	10.93	2.32	2.56	4.57	7.80	12.31	3.19	3.21	5.62	5.34	
FeO	3.45	3.09	5.39	9.88	2.41	5.03	7.47	6.11	7.32	9.40	6.68	7.04	3.84	5.17	
MnO	0.15	0.17	0.23	0.55	0.05	0.12	0.14	0.09	0.14	0.21	0.13	0.23	0.20	0.25	
MgO	4.96	2.62	3.72	4.37	4.52	3.50	5.06	5.12	7.15	9.44	5.84	4.26	3.28	4.74	
CaO	2.80	3.08	3.36	5.46	2.13	4.76	5.14	2.27	2.59	2.45	4.72	5.98	2.52	5.04	
N ₂ O	0.48	3.08	3.10	1.11	0.10	3.09	4.34	1.89	3.04	0.47	2.94	2.28	4.56	3.08	
K ₂ O	5.62	2.68	2.43	0.50	5.76	4.20	0.66	6.30	1.96	1.92	2.94	2.05	3.06	2.00	
P ₂ O ₅	0.63	0.45	0.53	0.33	0.20	0.26	0.22	0.24	0.22	0.24	0.40	0.30	0.35	0.17	
CO ₂	0.37	0.17	0.52	1.14	0.70	0.82	0.37	0.42	0.42	0.55	0.20	0.79	0.17	0.08	
H ₂ O ⁺	4.89	3.70	5.06	6.86	3.82	1.52	2.76	3.62	4.97	7.92	2.19	1.49	2.22	4.14	
H ₂ O ⁻	3.20	0.42	0.24	0.40	3.18	0.56	0.54	1.16	2.00	2.94	0.46	1.11	1.12	0.40	
总计	99.36	99.96	99.95	100.37	99.77	99.94	99.54	99.45	100.54	99.72	99.38	99.68	100.24	99.94	
C · I · P · W %	Cc	0.80	0.40	1.20	2.60	1.60	1.80	0.80	0.90	0.90	1.20	0.50	1.80	0.40	0.10
	Ap	1.35	1.35	1.35	0.67	0.33	0.67	0.33	0.33	0.33	0.33	1.00	0.67	1.00	0.33
	Il	3.49	3.49	3.49	3.34	1.37	1.97	1.97	1.97	2.12	2.89	2.43	2.70	3.04	2.43
	Mt	11.34	6.94	9.49	14.35	0.72	3.40	3.70	6.71	11.34	15.74	0.46	4.63	6.71	7.64
	Ab	4.19	26.21	26.01	9.44	1.04	26.21	36.70	16.25	25.69	3.67	24.64	18.87	38.80	26.21
	Or	32.83	16.14	13.91	2.78	34.50	25.04	3.90	37.29	11.69	11.13	17.25	12.24	18.36	11.69
	An	8.07	10.57	9.73	17.80	5.28	13.91	16.13	7.79	9.46	8.07	17.52	22.80	8.62	19.19
	Di						2.26	5.27				1.36			3.77
	Hy	17.76	8.76	13.06	18.36	19.02	13.31	21.40	18.55	23.18	31.80	21.67	18.75	10.77	13.47
	Q	5.23	19.34	12.07	19.64	18.92	9.25	6.55	0.78	3.24	4.50	5.77	13.69	8.41	8.35
C	5.70	2.55	3.87	3.77	2.20			4.08	5.50	9.28		0.30	0.92		
An*	75.7	35.5	37.5	72.9	91.0	33.3	29.3	39.6	31.9	75.9	40.1	59.8	21.3	40.8	
<FeO>/MgO	3.02	3.56	3.55	4.29	2.66	2.03	1.93	2.00	2.00	2.17	1.64	2.33	2.71	2.10	
K × 100 / K + Na	88.1	36.70	33.30	21.7	96.9	47.4	9.1	68.4	30.0	74.1	39.7	37.9	30.8	29.6	
产地	垣曲朱家庄					垣曲皋落					清泉大队	山神庙	泉二庄		
地位	西洋河群许山组					西洋河群鸡蛋坪组									

分析者：中国地质科学院岩矿测试技术研究所刘以健。

注：1. An*为用季一扎法计算的斜长石成分；2. 当Fe₂O₃ > FeO，把部分Fe₂O₃换算成FeO（使Fe₂O₃ ≤ FeO）后再计算标准矿物

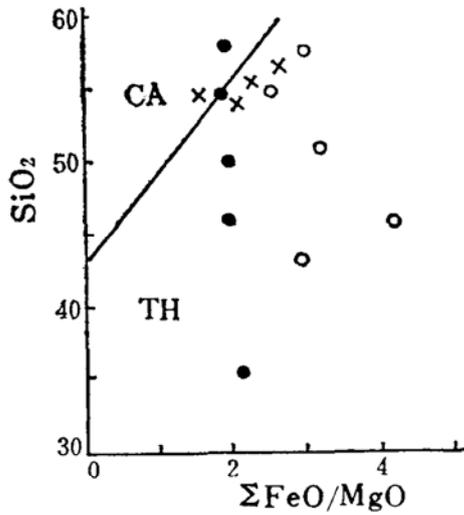


图2 山西垣曲中元古代熔岩 SiO_2 — $\langle \text{FeO} \rangle / \text{MgO}$ 图

Fig 2 Plot of FeO/MgO against SiO_2 for the Middle Proterozoic lavas from Yuanqu, Shanxi

CA—钙碱质岩系；TH—拉斑玄武岩系；
•—鸡蛋坪组枕状熔岩；○—许山组枕状熔岩；×—鸡蛋坪组块状熔岩

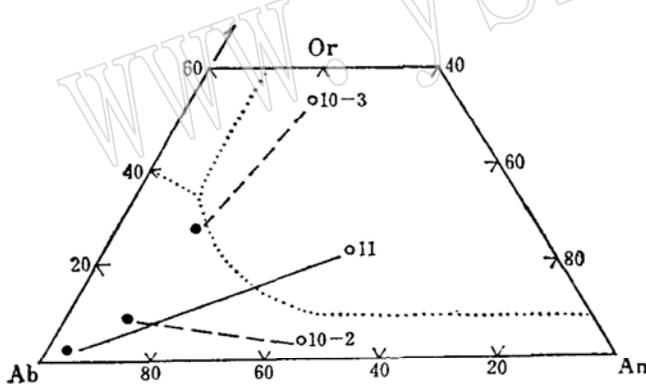


图3 山西垣曲中元古代枕状和块状熔岩斜长石的Or—Ab—An图

Fig 3 Or—Ab—An diagram for Plagioclase in the Middle Proterozoic pillow and massive lavas from Yuanqu, Shanxi

•—实测值；○—计算值。符号旁边的数字为样品号

岩石的酸度 (SiO_2 含量) 降低, $\text{K}/(\text{Na} + \text{K})$ 值增高。计算的An值 (用季—扎法计算) 亦有增高的趋势 (表5)。若以Or、Ab、An

的计算值与探针分析值比较 (图3), 发现实测的Ab值总比计算的高。这可能说明实测的An值接近于岩浆结晶时的斜长石成分, 而计算的Or值则更接近于变化后基质的成分。需要说明的是10—3号样斜长石的Or值高 (两次测定的平均值), 可能是轻微绢云母化的结果 (见表3)。

五、稀土元素地球化学特征

两个枕体和枕间胶结物的稀土元素丰度列于表6。标准化型式如图4、5所示。其主要特征:

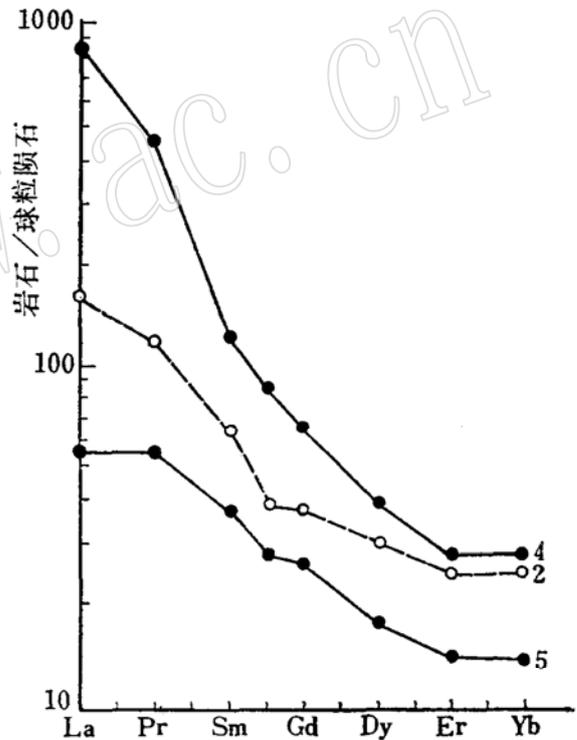


图4 山西垣曲许山组枕状熔岩的REE球粒陨石标准化型式图

Fig 4 Chondrite normalized REE patterns of pillow lavas for the Xushan formation from Yuanqu, Shanxi

2为表6中1、2、3号样的平均值, 4和5为表6中4和5号样

1. 都富含轻稀土 (LREE) 如La、Ce、Pr、Nd、Sm等。这与环太平洋其它火山区大陆边缘安山岩或玄武岩的标准化型式相

表 6 山西垣曲中元古代枕状熔岩的稀土元素丰度表(ppm)
Table 6 REE concentrations (PPM) of the Middle Proterozoic pillow lavas from Yuanqu, Shanxi

序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
样号	7-1A	7-1B	7-2	7-3	7-4	10-1	10-2	10-3	10-4	10-5	球粒陨石
产状	枕壳(下)	枕壳(下内)	枕心	枕壳(上)	胶结物	枕壳(下)	枕心	枕壳(上)	胶结物		(22个样)
Y	49.27	54.00	49.00	63.90	30.83	28.52	25.74	25.52	29.52	31.23	1.96
La	46.43	56.07	54.15	285.80	18.69	37.57	38.99	38.33	34.84	41.82	0.32
Ce	97.54	119.00	116.30	507.20	47.35	73.14	75.96	75.33	72.11	87.33	0.94
Pr	13.24	15.01	15.02	58.71	7.17	9.29	9.25	9.11	9.07	10.82	0.12
Nd	55.65	59.94	59.74	206.10	31.60	35.19	34.84	34.02	35.15	41.47	0.60
Sm	12.22	12.38	12.66	26.37	7.77	6.56	6.75	6.49	7.09	8.14	0.20
Eu	2.74	2.67	2.63	7.04	1.97	1.86	1.71	1.89	1.72	2.23	0.073
Gd	11.80	11.57	12.03	20.06	7.64	6.39	6.06	5.76	6.37	7.15	0.31
Tb	1.60	1.58	1.56	1.88	1.02	0.77	0.74	0.80	0.90	0.90	0.05
Dy	9.10	9.60	9.65	12.16	5.95	5.12	4.89	4.64	5.34	5.96	0.31
Ho	2.30	2.46	2.38	2.87	1.44	1.30	1.25	1.18	1.37	1.50	0.073
Er	4.92	5.29	4.97	5.71	2.98	2.84	2.67	2.61	2.97	3.25	0.21
Tm	0.75	0.82	0.78	0.86	0.46	0.44	0.42	0.41	0.47	0.50	0.033
Yb	5.04	5.23	4.91	5.48	2.77	2.88	2.65	2.67	3.04	3.34	0.19
ΣREE	313	356	346	1204	168	212	212	209	210	246	5.4
La/Yb	9.2	10.7	11.0	52.1	6.7	13.0	14.7	14.4	11.5	12.5	1.7
Eu/Eu*	0.75	0.73	0.71	0.96	0.85	0.91	0.88	1.01	0.86	0.95	

注: Eu*是用内插法求出的Eu值。

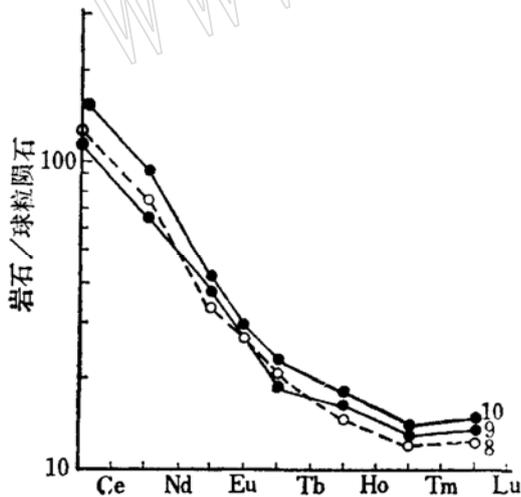


图 5 山西垣曲鸡蛋坪组枕状熔岩的REE球粒陨石标准化型式图

Fig 5 Chondrite normalized REE Patterns of pillow lavas for the Jidanping formation from Yuanqu, Shanxi

8 为表 6 中第 6、7、8 样平均值, 9、10 为表 6 中 9 和 10 号样

似。

2. 枕心和枕壳的REE含量变化不大, 而胶结物的REE含量或者比枕体的低, 或者比枕体的高。例外的情况是7-3号样(上枕壳)的REE含量异常高, 其原因尚待查明。

3. La/Yb 6.7—14.7 (仅一个样为 52.1), 比球粒陨石的La/Yb值(1.7)高得多, 且与全岩的SiO₂、(FeO)/MgO无相关关系。

4. 许山组的枕体比鸡蛋坪组的枕体更富含轻、重稀土元素, 前者 ΣREE > 300 ppm, 后者却小于 220 ppm。这可能与前者的岩石酸度低有关。

5. Eu/Eu*从0.71—1.01说明多数样品具负Eu异常。

六、问题讨论

1. 关于岩石名称: 由前述可知, 本区火山岩的矿物组合为钠长石, 绿泥石。部分样品在化学成分上是高碱低钙, $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})/\text{CaO}$ 值有的可达2.2—3.6。具有上述特点的岩石可否定名为细碧岩或角斑岩呢? 目前, 一些研究者如菲亚拉(F. Fiala)等仅强调细碧岩的上述矿物组合和高碱(特别是钠)的特点, 并未强调岩石形成时的构造环境。另一些研究者, 如W. 纳雷布斯基(Narebski)^[2]等则强调构造环境, 他认为“细碧岩、角斑岩这样的名称, 仅局限于应用在与地槽原始火山作用有成因联系的岩石上。所有其他在化学成分和矿物成分上相似而却在完全不同的地质条件下形成的岩石应简单地称为钠长石化玄武岩……钠长石化安山岩或钠长安山岩等”。笔者完全赞同后一种观点。本区火山岩系是在稳定大陆边缘浅海环境和裂谷中形成, 属拉斑玄武岩系。由于与海水作用和岩石露出地表明后的长期表生作用的影响, 使斜长石的碱质增高, 因此本区的火山岩不属细碧角斑岩系。某些样品虽可命名为绢云母化玄武岩和安山岩, 但是, 考虑到在地表的自然露头上所取的样品并不十分新鲜, 且探针测定的样品亦很有限。因此本文的岩石命名仅给以大类名称(如玄武岩、玄武安山岩等)。

2. 枕状熔岩形成的机理: 自从1890年Cole等人把“pillow”一词用于描述球状玄武岩中椭球形构造以来, 文献中出现了各式各样的成因假说。目前绝大多数研究者认为枕状构造是熔浆与水接触冷却形成。由于对单个枕体的三维空间形态存在争论, 导致枕体成因模式的争论。一些研究者(Snyder和Fraser 1963^[10]; Johnston 1969^[6]; Wells et al. 1979^[11])确信多数枕状熔岩是由分散的、独立的椭球体组成。而另一些研究

者(Jones 1968; Vaugnat 和 Pustaszer 1965; Moore等 1971, 1975^[8])所描述的枕状熔岩是由排列紊乱的圆筒状的互相联结的flow lobes组成。Moore(1975)还认为枕体形态的争议, 多数是由于陆上露头所见的切面形态对三维空间形态的歪曲所致。他根据对现代海底熔岩流的实地考察认为枕状熔岩是水下岩流前锋分岔变薄、形成许多树枝状的岩流小管, 由于外皮冷却但内部的熔浆却未凝固, 它继续向前运动, 使外壳膨胀, 分支拉长, 新的枕壳便在裂隙中白炽体附近形成。

笔者根据本区的实际资料认为许山组第二层位的枕状熔岩(朱家庄第7统计点)的枕体大、枕间的玻璃质少(图版I—2)可能由岩流小管分支拉长这种方式形成。而本区其他统计点的枕体小、枕间胶结物或充填物较多(50—75%), 并常混杂有火山集块、火山角砾等。在个别露头上(如皋落)三维空间(垂直地面和平行地面)观察, 枕体并不相连, 因而推测这种枕体是水下火山口抛出的塑性集块于水中(未抛出水面)一边向前运动一边冷却堆积而成。而与其伴生的火山集块和角砾则被抛出水面后再落入水中堆积而成。

3. 枕状熔岩某些成分特点的成因解释: 由前述可知, 枕心、枕壳、枕间玻璃质的成分变化规律是Si、Na降低, Mg、Ca、K增加, 这是海相枕状熔岩的共同特点。为什么会形成这样的共同特征呢? 大量的实验资料表明海水与高热的火山岩(无论是玄武岩或安山岩)反应后海水总是失去Na和Mg而从火山岩中获取Si、Fe、K、Ca等^[4,7,9]。例如, 据Hajash(1981)^[4]的实验资料, 在500℃、1千巴条件下海水与火山岩反应14天, 海水中Mg由1496ppm降至180ppm, 即降低了7倍, Si由3ppm增至1550ppm, 即增加500多倍。由于海水浸泡胶结物和枕壳的时间比浸泡枕

心的时间要长些,当这些高热海水被移走以后,胶结物和枕壳的Mg值增加,故岩石的酸度降低。按照这种理论尚不能解释枕心比枕壳钠高的特点。从本区的实际情况分析,由于长期的表生作用,使枕壳和枕间玻璃质中Na丢失而K增加所致。

4. 枕状熔岩定位时海水的深度:从宏观上看,本区火山岩系中夹有厚度不大的砂岩和页岩以及硅质透镜体,枕状构造发育,表明是浅海环境。Moore (1965)曾指出玄武岩的密度和孔隙度与岩浆定位时水的深度有关,深度大,气孔小而少。Jones (1969)^[5]根据冰岛现代熔岩资料认为,水深>470米,气孔<5%;水深100—300米,气孔可达20—40%。从本区的枕体特征看,气孔最高含量可达20%,有的杏仁体很大(直径可达8×1 cm),与枕体密切伴生的尚有气孔极多的火山集块(阜落),这种集块是在空气中冷却炸裂形成。因而推测枕状熔岩定位时海水深度不会超过300米。斜长石斑晶的淬火温度均为950℃。熔岩定位时的枕造环境可能属于大陆边缘裂谷中的浅海环境。关于本区火山岩的定位年龄和裂谷性质的确定已另文^①讨论,故本文从略。

主要参考文献

- [1] 夏林圻:1981,一种斜长石地质温度计的改进,地质科学,第一期, p.82—86。
 [2] G. C. 阿姆施蒂茨主编,1974,沈能训、李亿斗译,1982,细碧岩及细碧质岩石,地质出版社。
 [3] Dimroth, E., et al.: 1978, Structure and organization of Archean subaqueous basalts flows, Rouyn-Neranda area, Quebec, Canada, Can. Jour. Earth. Sci. V 15, p. 907-918。
 [4] Hajash, A and Chanoller, G. W.: 1981, An experimental investigation of high temperature interactions between seawater and rhyolite, andesite, basalts and peridotite. Contrib. Mineral. Petrol., V78, p. 240-254。
 [5] Jones, J. G.: 1969, Pillow lavas as depth

indicators. Am. J. Sci. V267, p. 181-195.

[6] Johnston, J. G.: Pillow lava and pahoe-hoe A discussion. J. Geol. V77, p. 730-732.

[7] Motll, M. J. and Holland, H. D.: 1978, Chemical exchange during hydrothermal alteration of basalt by Sea water I, Geoch. et Cosmoch. V42, p. 1103-1115.

[8] Moore, J. G.: 1975, Mechanism of formation of pillow lava. Am. Sci. V63, p. 269-277.

[9] Munha, J., and Kerron, R.: 1980, Sea-water basalt interaction in spilit from the Zberian pyrite belt. Contrib. Mineral. V73, p. 191-200.

[10] Snyder, G. L., and Fraser, G. D.: 1963, Pillowed lavas II, A review of selected recent literature. U. S. Geol. Survey. Prof. Paper, 454-c p. 17.

[11] Wells, G., et al.: 1979, Comparison morphology of ancient pillow. J. Geol. V. 87, No. 4, p. 427-440.

图版说明

I—1 西洋河群许山组底部之枕状集块熔岩。图中P为枕体, Q为担山石组。山西垣曲朱家庄磷矿。

I—2 许山组下部之枕状熔岩。枕体相互铰合,枕间仅有极少量的玻璃质。山西垣曲朱家庄。

I—3 许山组底部枕体切面形态。A—哑铃形; B—龟形。枕体的塑性变形明显,枕体壳色浅,垂直于枕体延长方向的节理裂隙很发育。山西垣曲周家沟。

I—4 许山组底部之枕状集块岩。大的枕体之间为火山集块、火山角砾和凝灰质。C为枕体核心中的矽石。山西垣曲朱家庄磷矿。

I—5 许山组下部枕状熔岩的枕体取样位置和杏仁体分布特征。图中箭头所指为扁圆形杏仁体,它沿枕壳上边部分布; 1A、1B、2、3、4分别依次为表5中1—5号样。山西垣曲朱家庄。

I—6 西洋河群鸡蛋坪组之椭圆形枕体。图中数字1至5为表5中6至10号样品。山西垣曲阜落。

(下接第22页)

① 乔秀夫、张德全等:晋南西洋河群同位素年代学研究及其地质意义。

