



# 青海乌拉斯太地区万宝沟群火山岩地球化学特征及构造环境分析

王成国<sup>1</sup>, 杜显彪<sup>2</sup>, 徐国良<sup>1</sup>

(1. 山东省第一地质矿产勘查院, 山东 济南 250014; 2. 山东省鲁南地质工程勘察院, 山东 兖州 272100)

**摘要:**分布于东昆仑南部乌拉斯太地区的万宝沟群是一套灰绿色变玄武岩夹灰—灰白色白云石大理岩的岩石组合, 综合室内岩石学、地球化学、同位素年龄研究, 将该岩群划为中—新元古代万宝沟群。区内万宝沟群出露以基性变火山岩夹大理岩的岩性组合为特征, 原岩恢复为火山岩夹碳酸盐岩的沉积建造。其主量元素特征表明万宝沟群火山岩具从洋中脊拉斑玄武岩→岛弧拉斑玄武岩→板内钙碱性玄武岩演化的趋势; 稀土元素特征显现出与岛弧拉斑玄武岩略相似; 微量元素特征具有板内玄武岩拉斑—碱性过渡类型特征, 与过渡型拉斑质玄武岩更为接近。万宝沟群变火山岩的成岩环境为洋中脊环境—岛弧环境—板内环境。

**关键词:**万宝沟群; 岩石化学; 变质作用; 构造环境; 与拉斯太地区; 青海

**中图分类号:** P588.14

**文献标识码:** A

**引文格式:**王成国, 杜显彪, 徐国良. 青海乌拉斯太地区万宝沟群火山岩地球化学特征及构造环境分析[J]. 山东国土资源, 2015, 31(7): 11—18. WANG Chengguo, DU Xianbiao XU Guoliang. Analysis on Geochemical Characteristics and Tectonic Environment of Volcanic Rocks of Wanbaogou Group in Wulasitai Area in South of Dongkunlun[J]. Shandong Land and Resources, 2015, 31(7): 11—18.

## 0 引言

1981年青海第一区调队将分布于万保沟一带的一套浅变质碎屑岩、火山岩、碳酸盐岩创名为“万宝沟群”, 时代归中、新元古代。并据岩性组合分为4个岩组, 即下碎屑岩组、火山岩组、碳酸盐岩组、上碎屑岩组。1997年青海省进行岩石地层的清查, 定义万宝沟群“指分布于东昆仑山南坡一套由浅变质碎屑岩、火山岩和浅变质碳酸盐岩组成的地层序列。下部以碎屑岩、火山岩为主夹碳酸盐岩; 中部以火山岩为主夹碎屑岩; 上部以碳酸盐岩为主夹碎屑岩。顶底界线不明<sup>[1]</sup>”。

2009—2013年, 山东省鲁南地质工程勘察院在青海省都兰县乌拉斯太一带 J47E024003 等七幅矿调工作中确定该区万宝沟群地层岩性组合为(枕状)玄武岩夹大理岩、凝灰岩、硅质岩, 其中碳酸盐岩与(枕状)玄武岩呈明显的整合接触。并在玄武岩中

获 U—Pb 法同位素年龄值 867 Ma。该文对分布于东昆仑南部乌拉斯太地区中—新元古代地层万宝沟群火山岩从岩石学、岩石化学、构造环境等方面进行了分析, 探讨了乌拉斯太地区中—新元古代地层万宝沟群形成的地质构造环境及成岩时代, 该成果将对该地区区域地质、东昆仑洋盆的形成与演化、地层时代等方面的研究提供了一定的线索和依据。

## 1 地质特征

该区万宝沟群主要沿昆中主断裂南侧分布, 呈现一种不连续条带状, 展布于哈图沟中段—乌拉斯太沟中段—特里喝姿沟中段—波罗斯太沟上段等地, 呈 NW—SE 向, 局部被新成岩体推挤至南北两侧, 多被岩体侵蚀, 局部与周围岩层呈断层接触, 受

收稿日期: 2015-02-05; 修订日期: 2015-03-15; 编辑: 王敏

作者简介: 王成国(1970—), 男, 山东济南人, 工程师, 主要从事地质矿产调查工作; E-mail: 534015734@qq.com



质:细粒状变晶,含量≤5%。石英:他形粒状变晶无色透明,波状消光,含量 2%~3%。金属矿物:他形细粒,含量 1%~2%。

### 3 岩石化学特征

#### 3.1 主量元素特征

万宝沟群变玄武岩的岩石化学分析结果和特征参数值分别见表 1、表 2,其成分特征分述如下:

表 1 万宝沟群变质岩岩石化学成分(10<sup>-2</sup>)

岩性	样品号	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	H <sub>2</sub> O	总量
变玄武岩	G6393-1	51.24	0.82	13.40	2.36	9.21	0.24	7.41	10.15	3.30	0.49	0.07	1.32	100.01
变玄武岩	P30G6-1	47.76	1.41	15.02	2.74	10.73	0.19	6.48	9.14	2.80	0.90	0.14	1.82	99.13
变辉石玄武岩	P30G7-1	50.04	1.84	17.91	2.30	6.95	0.15	5.38	8.80	3.64	1.25	0.43	1.37	100.06
变玄武岩	P30G8-1	53.20	1.95	15.19	1.93	7.18	0.14	4.77	8.52	2.86	1.53	0.66	1.33	99.26
变玄武岩	P39G1-1	45.63	1.60	13.10	11.44	8.19	0.19	8.08	7.23	3.10	1.58	0.34	—	100.48
变玄武岩	P04G9-1	44.19	1.10	10.64	14.00	9.69	0.21	9.75	9.06	1.57	0.36	0.10	—	100.67

表 2 万宝沟群变质岩主要参数特征(10<sup>-2</sup>)

岩性	样品号	al	alk	fm	c	Si	K	mg	O	h	c/fm	t	qz	类型
变玄武岩	G6393-1	18.36	8.17	48.18	25.29	119.13	21.62	0.53	1.09	0.10	0.52	-15.10	-13.56	al<alk+c
变玄武岩	P30G6-1	20.69	7.69	48.74	22.88	111.62	21.64	0.46	1.26	0.14	0.47	-9.88	-19.14	al<alk+c
变辉石玄武岩	P30G7-1	26.38	10.82	39.22	23.57	125.08	18.43	0.51	1.41	0.11	0.60	-8.01	-18.21	al<alk+c
变玄武岩	P30G8-1	24.52	10.25	40.21	25.01	145.71	24.83	0.48	1.26	0.12	0.62	-10.75	4.70	al<alk+c
变玄武岩	P39G1-1	16.38	8.51	58.68	16.43	96.79	15.38	0.44	3.97	—	0.28	-8.57	-37.26	al<alk+c
变玄武岩	P04G9-1	12.28	3.43	65.29	19.00	86.51	31.50	0.44	4.03	—	0.29	-10.16	-27.21	al<alk+c

从表 1 中可见,岩石的 SiO<sub>2</sub> 含量在 44.19%~53.20%之间;Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 为 10.64%~17.91%之间;普遍 TiO<sub>2</sub> 含量在 0.82%~1.95%之间,绝大部分样品 TiO<sub>2</sub>>1,大部分样品 K<sub>2</sub>O<Na<sub>2</sub>O。

分平均值 fm=39.22~65.29。由此可见,岩石以富镁铁质、硅不饱和为特征。

该变质岩在 FAM 图解(图 2)中,3 个样品投入拉斑玄武岩区,3 个样品投入钙碱性玄武岩区;在

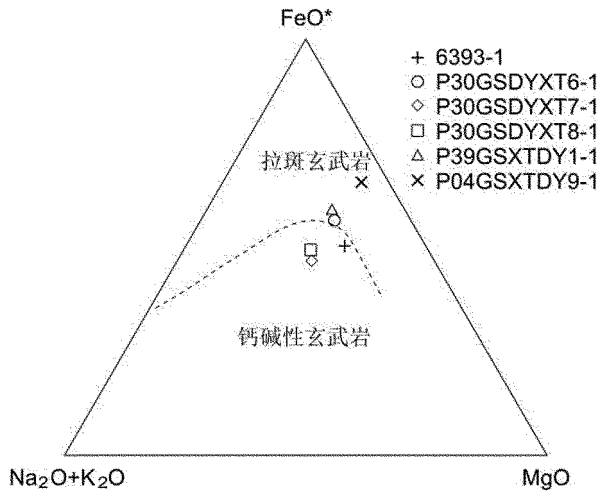


图 2 万宝沟群镁铁质变质岩 FAM 图解 (据 T.N.Irvine 等,1971)

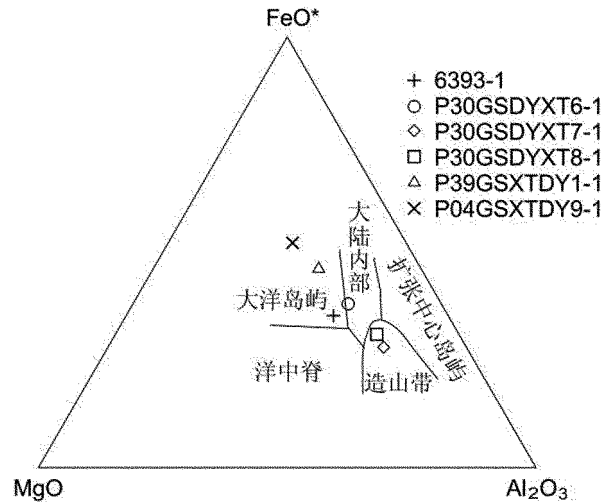


图 3 万宝沟群镁铁质变质岩 FeO<sup>\*</sup>-MgO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 图解 (据 T.H.Pearce,1977)

从表 2 中可见尼格里参数:氧化铝数 t = -15.10~-8.01<0,均属于铝正常类型;石英数 qz = -37.26~4.70,5 个样品属 SiO<sub>2</sub> 不饱和类型,1 个样品属 SiO<sub>2</sub> 饱和类型。K=18.43~31.50,暗色组

FeO<sup>\*</sup>-MgO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 图解(图 3)上,3 个样品落入大洋岛屿区,1 个样品落入大陆板块内部,另 2 个样品落入造山带内;在 TiO<sub>2</sub>-10MnO-10P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>(图 4)中,2 个样品投入岛弧拉斑玄武岩内,2 个样品投入

大洋岛屿碱玄武岩内,1 个样品落在钙碱性玄武岩与岛弧拉斑玄武岩之间,1 个样品落入洋中脊与岛弧拉斑玄武岩之间。综合这 3 种图解,万宝沟群变质岩似乎具从洋中脊拉斑玄武岩→岛弧拉斑玄武岩→板内钙碱性玄武岩演化的趋势。

### 3.2 微量元素特征

中—新元古代万宝沟群火山岩微量元素含量见表 3,标准比值见表 4,其中部分样品 Rb, Th, Sm 含量偏高,部分样品 Ba, Sm 含量偏高, Nb, Zr, Ti 含量较低。从图 5 中可看出,中—新元古代万宝沟群火山岩微量元素均高于原始地幔。蛛网图中 Rb, Th, Ba 明显富集, Nb, Zr, Ti 亏损, 显示出幔源型特点<sup>[2]</sup>。

表 3 万宝沟群火山岩微量元素分析结果(10<sup>-6</sup>)

样品编号	Rb	Ba	Th	Ta	Nb	Hf	Zr	Sn	Ni	Sr	Sc
G6393-1	15.00	490.00	1.00	0.45	3.50	1.83	31.70	—	85.67	684.70	44.09
P30G6-1	37.50	528.70	1.20	0.61	5.20	2.34	64.80	1.00	92.31	208.30	53.18
P30G8-1	82.00	484.20	9.60	1.78	18.20	11.37	498.90	2.84	49.06	302.40	27.36
P39G1-1	145.00	520.80	10.30	1.00	12.30	2.50	70.80	6.50	16.70	408.00	8.60
P04G9-1	13.20	583.10	1.00	0.40	6.20	2.20	56.00	10.00	58.00	193.40	47.20
P30G7-1	62.90	348.00	3.10	1.05	11.50	5.21	219.10	1.48	47.70	422.40	32.54

表 4 万宝沟群火山岩微量元素标准比值( /N - MORB)

样品编号	Sr <sub>N</sub>	K <sub>N</sub>	Rb <sub>N</sub>	Ba <sub>N</sub>	Th <sub>N</sub>	Ta <sub>N</sub>	Nb <sub>N</sub>	Ce <sub>N</sub>	P <sub>N</sub>	Zr <sub>N</sub>	Hf <sub>N</sub>	Sm <sub>N</sub>	Ti <sub>N</sub>	Y <sub>N</sub>	Yb <sub>N</sub>
G6393-1	29.77	16.11	17.44	64.81	10.42	10.47	5.65	5.79	3.38	2.88	5.23	6.23	3.22	4.44	4.53
P30G6-1	9.06	29.59	43.60	69.93	12.50	14.19	8.39	8.05	6.77	5.89	6.69	9.25	5.54	5.69	6.37
P30G8-1	13.15	50.30	95.35	64.05	100.00	41.40	29.35	44.63	31.91	45.35	32.49	25.77	7.67	8.60	8.60
P39G1-1	17.74	51.94	168.60	68.89	107.29	23.26	19.84	20.74	16.44	6.44	7.14	15.06	6.29	5.67	7.55
P04G9-1	8.41	11.84	15.35	77.13	10.42	9.30	10.00	7.26	4.84	5.09	6.29	7.53	4.33	3.90	5.24
P30G7-1	18.37	41.09	73.14	46.03	32.29	24.42	18.55	24.53	20.79	19.92	14.89	17.35	7.24	6.96	7.13

表 5 万宝沟群变质岩稀土元素分析结果(10<sup>-2</sup>)

序号	样品号	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Y
1	G6393-1	4.80	11.00	1.60	7.90	2.40	0.94	2.30	0.52	3.67	0.75	2.16	0.35	2.16	—	21.60
2	P30G6-1	6.00	15.30	2.46	11.80	3.56	1.11	3.92	0.81	5.41	1.07	3.25	0.48	3.04	0.45	27.70
3	P30G7-1	21.60	46.60	6.67	29.20	6.68	2.01	6.19	1.14	6.80	1.32	3.90	0.55	3.40	0.51	33.90
4	P30G8-1	42.00	84.80	11.87	48.50	9.92	2.50	8.99	1.48	8.53	1.59	4.71	0.66	4.10	0.61	41.90
5	P39G1-1	16.50	39.40	5.50	24.40	5.80	1.90	5.60	1.00	6.40	1.20	3.60	0.60	3.60	0.60	27.60
6	P04G9-1	5.60	13.80	2.00	10.00	2.90	1.10	3.10	0.70	4.50	0.90	2.60	0.40	2.50	0.40	19.00

表 6 万宝沟群变质岩稀土元素主要特征

序号	样品号	ΣREE	LREE	HREE	LREE/HREE	δEu	Sm/Nd	(La/Yb) <sub>N</sub>	(La/Sm) <sub>N</sub>	(Gd/Lu) <sub>N</sub>
1	P28G11-1	40.55	28.64	11.91	2.40	1.22	0.30	1.59	1.29	—
2	P28G17-1	58.66	40.23	18.43	2.18	0.91	0.30	1.42	1.09	1.08
3	P28G21-1	136.57	112.76	23.81	4.74	0.96	0.23	4.56	2.09	1.50
4	P28G30-1	230.26	199.59	30.67	6.51	0.81	0.20	7.35	2.73	1.82
5	P28G31-1	116.10	93.50	22.60	4.14	1.02	0.24	3.29	1.84	1.15
6	P28G32-1	50.50	35.40	15.10	2.34	1.12	0.29	1.61	1.25	0.96

### 3.4 变质作用特征及原岩建造分析

岩石中主要变质矿物以大理岩中新生矿物方解

### 3.3 稀土元素特征

万宝沟组变质岩稀土元素分析结果见表 5,其稀土元素特征见表 6。其中 3 个样稀土总量较低在 40.55~58.66,另外 3 个样品稀土总量在 116.10~230.26。轻重稀土比 LREE/HREE 在 2.18~6.51 之间, (La/Yb)<sub>N</sub> = 1.42~7.35, 显示 (La/Yb)<sub>N</sub> > 1, 为富轻稀土型, 轻重稀土间分馏较弱 (La/Sm)<sub>N</sub> = 1.09~2.73, δEu 在 0.81~1.22 之间(δEu ≈ 1), 3 个样品显示出较弱的正铕异常, 3 个样品显示出较弱的负铕异常, 球粒陨石标准化的稀土配分模式图呈近水平(图 6), 总体特征与大洋中脊玄武岩稀土元素的配分模式相近。

石和透闪石为主,变玄武岩局部可见新成矿物黑云母。由此可见:万宝沟群区域变质岩石变质程度较

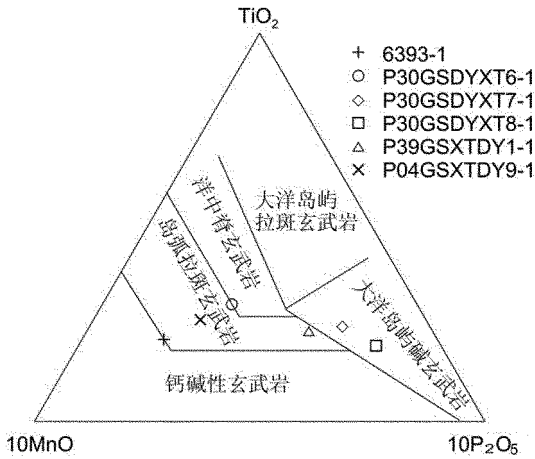


图 4 万宝沟群镁铁质变质岩  $TiO_2 - 10MnO - 10P_2O_5$  图解 (据 E.D.Mullen, 1983)

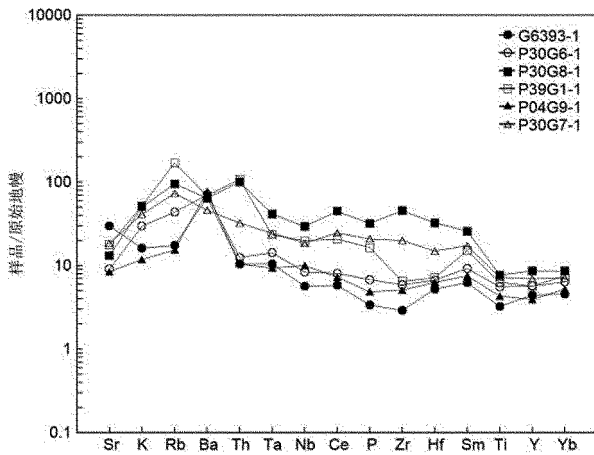


图 5 万宝沟群火山岩微量元素原始地幔标准化蛛网图 (原始地幔标准值据 Sun 和 Mcdonough, 1989<sup>[3]</sup>)

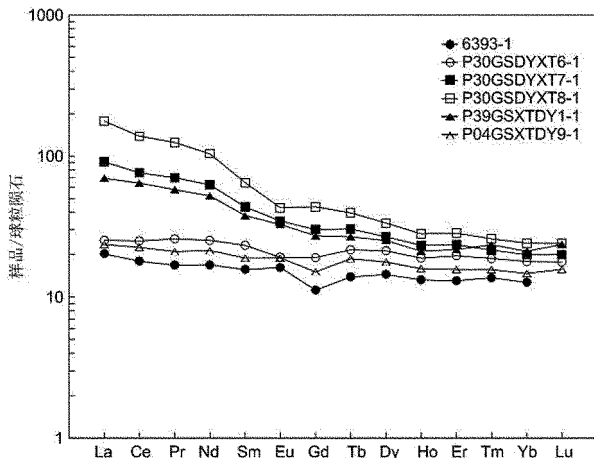


图 6 万宝沟群变质岩石稀土配分曲线 (球粒陨石标准值据 Taylor 和 McLennan, 1985<sup>[4]</sup>)

低,以大理岩、变火山岩为主,可统划归为绢云母—绿泥石带,属低绿片岩相。其主要变质矿物组合如

下:

碳酸盐岩: Cal + Qz, Cal + Tr。

变火山岩: Pl + Px + Hb + Ch, Pl + Qz + Hb + Ch, Pl + Qz + Hb。

参考中—新元古代冰沟群变质特征,中—新元古代万宝沟群变质岩形成的温压条件应为:  $P = 0.2 \sim 1.0 \text{ GPa}$ ,  $T = 350 \sim 500^\circ\text{C}$ 。

区内万宝沟群出露以基性变火山岩夹大理岩的岩性组合特征,原岩恢复为火山岩夹碳酸盐岩的沉积建造。

### 3.5 变质时期及变质演化分析

中—新元古代万宝沟群变质岩石组合属变火山岩夹大理岩建造。岩石总体有变形强度高,但变质程度低的特征。如火山岩较好地保留了原始喷发沉积时的特征。岩石强烈的片理化,片理面与原始层理呈高角度斜交,岩石被强烈拉伸变形,形成板理、千枚理<sup>[5]</sup>。

根据岩石组合、变形特征分析,该岩组至少经历了 3 期变质作用演化:

第 1 期:晋宁期区域低温动力变质作用的发生期,形成低绿片岩相板岩—千枚岩级轻变质岩石,主要体现在岩石矿物的重结晶,变形特征不明显。

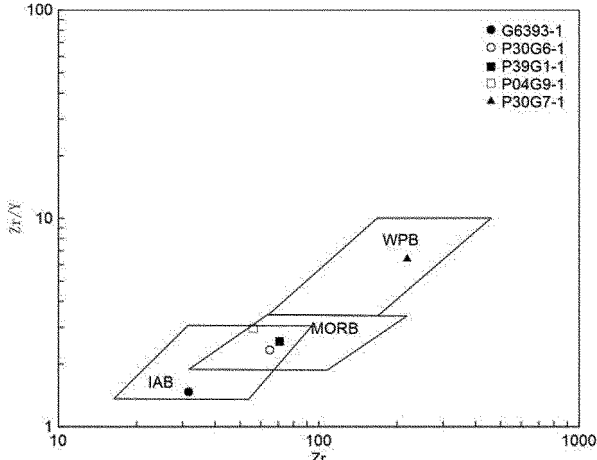
第 2 期:主期变质作用则与加里东期中浅部层次糜棱岩化动力变质作用有关,岩石被强烈片理化,新成片理面  $S_1$  及拉伸线理  $L_1$  与岩石层理  $S_0$  呈高角度斜交,碎屑岩中砾石被严重压扁拉长,局部具典型的韧性剪切特征。

第 3 期:则与华里西期以后时期中的表部层次动力变质作用有关,主要形迹为脆性断裂,变质不明显。新生的  $S_3$  破劈理、折劈理、羽状张性解理构造叠加在了早期的层理或片理面  $S_2$  之上。

## 4 构造环境分析

区内中—新元古代火山岩从地质特征看,由于后期置入性片理发育,原始沉积层理不可辨识,而局部露头可见枕状构造,可粗略判断该处原始火山沉积方向,并推断万宝沟群火山岩应为洋中脊海相火山岩沉积<sup>[6]</sup>。其主量元素特征表明该火山岩具从洋中脊拉斑玄武岩→岛弧拉斑玄武岩→板内钙碱性玄武岩演化的趋势;稀土元素特征显现出与岛弧拉斑玄武岩略相似;微量元素特征具有板内玄武岩拉斑—

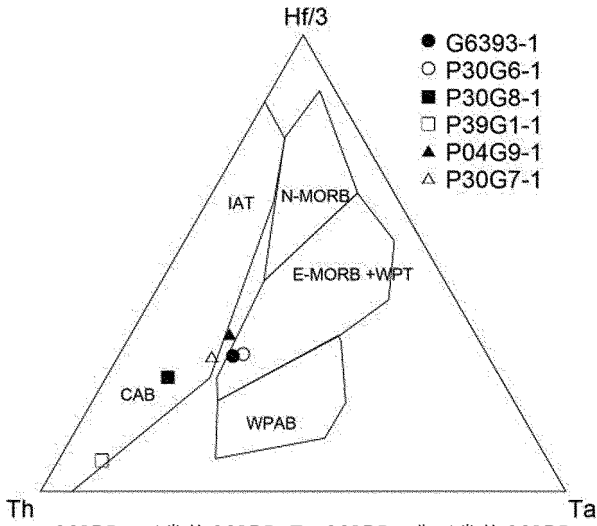
碱性过渡类型相似,与过渡型拉斑质玄武岩更为接近。利用矿物微量元素实际含量在  $Zr/Y - Zr$  判别图中(图 7),样品大部分集中落于岛弧玄武岩,只有 1 个样品落入板内玄武岩;在  $Hf/3 - Th - Ta$  构造判别图解中(图 8),样品大部落于岛弧拉斑玄武岩区、非正常的 MORB、板内玄武岩及其分异产物区。稀土元素与微量元素特征基本与主量元素判别一致。



WPB—板内玄武岩; IAB—岛弧玄武岩; MORB—洋中脊玄武岩

图 7 万宝沟群火山岩  $Zr/Y - Zr$  图解

(据 Pearce & Norry, 1979)



N - MORB—正常的 MORB; E - MORB—非正常的 MORB;  
WPAB—板内碱性玄武岩及其分异产物; CAB—岛弧拉斑玄武岩及其分异产物

图 8 万宝沟群火山岩  $Hf/3 - Th - Ta$  图解

(据 Wood, 1980)

综合上述分析,万宝沟群火山岩具有从洋中脊拉斑玄武岩→岛弧拉斑玄武岩→板内钙碱性玄武岩演化的趋势。综合判断万宝沟群玄武岩类变质岩的环境应为洋中脊环境—岛弧环境—板内环境。

## 5 区域对比及时代讨论

该区的万宝沟群出露的火山岩主要为基性火山岩玄武岩,并遭受到不同程度的变质。与正层型剖面相比较,正层型下部为浅变质碎屑岩、中部为火山岩夹碎屑岩及碳酸盐岩、上部以结晶灰岩为主夹浅变质碎屑岩及火山岩。该区可与万宝沟群正层型中部相对应。

从该区出露的万宝沟群来看,万宝沟群的火山岩夹碳酸盐岩主要沿昆中主断裂南侧展布。该区万宝沟群波洛斯太地区出露最为齐全,厚度较大,但由于受志留纪花岗岩体侵蚀下段出露并不完整;特里喝姿地区由于石炭纪花岗岩体的侵入挤压,万宝沟群被推挤至岩体两侧并以残留块呈现。可可喝特里及哈图等地区万宝沟群主要为火山岩夹碳酸盐岩,上部巨厚层火山岩缺失(图 9)。

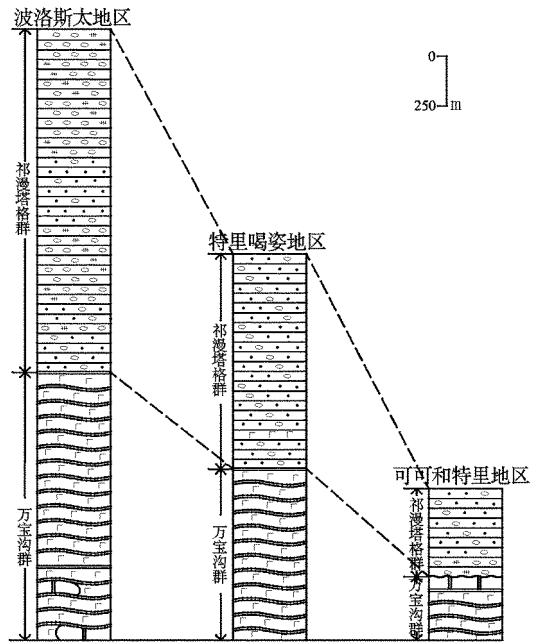


图 9 万宝沟群、祁漫塔格群岩性横向对比图

从哈图沟中游西侧取玄武岩样品采用锆石 U - Pb 法同位素获年龄  $(867 \pm 23) \text{ Ma}$ <sup>①</sup>,该年龄为结晶年龄,为新元古代(表 7、图 10)。此外东昆仑西段中基性火山岩 Rb - Sr 全岩等时年龄  $(1\ 134 \pm 350) \text{ Ma}$ ,开木棋河中基性火山岩 K - Ar 全岩等时年龄  $(1\ 056.96 \pm 52) \text{ Ma}$ 。综合各同位素年龄值,将万宝

① 山东省鲁南地质工程勘察院,青海省都兰县乌拉斯太一带 J47E024003 等七幅矿调,2013 年。

沟群置于中—新元古代。

表 7 中—新元古代万宝沟群锆石 U-Pb 年龄测定结果参数特征

序 号	同位素比值								锆石年龄(Ma)			
	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$1\sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$1\sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$1\sigma$	$^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$	$1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$
1	0.0562	0.0022	0.5500	0.0207	0.0714	0.0013	0.0266	0.0007	461.2±87	445.0±14	444.3±8	529.9±14
2	0.0688	0.0013	1.3701	0.0284	0.1446	0.0023	0.0529	0.0012	891.7±40	876.2±12	870.4±13	1041.6±23
3	0.0790	0.0066	0.4166	0.0310	0.0397	0.0019	0.0279	0.0012	1172.2±167	353.6±22	250.8±12	556.4±23
4	0.0703	0.0020	1.3959	0.0348	0.1461	0.0025	0.0544	0.0023	1000.0±57	887.2±15	879.1±14	1071.6±44
5	0.0670	0.0013	1.3159	0.0320	0.1428	0.0028	0.0461	0.0010	835.2±41	852.7±14	860.5±16	911.7±19
6	0.0706	0.0029	1.4100	0.0779	0.1454	0.0059	0.0491	0.0025	946.3±85	893.2±34	874.8±33	969.3±48
7	0.0676	0.0019	1.3223	0.0429	0.1429	0.0044	0.0491	0.0022	857.4±58	855.5±19	861.3±25	969.7±42
8	0.1687	0.0106	0.9510	0.0610	0.0411	0.0011	0.0308	0.0019	2546.3±106	678.6±32	259.7±7	613.1±36
9	0.0749	0.0017	1.4029	0.0421	0.1354	0.0027	0.0697	0.0025	1064.8±44	890.2±18	818.7±15	1361.4±48
10	0.0700	0.0014	1.4242	0.0307	0.1482	0.0022	0.0476	0.0009	927.8±41	899.1±13	890.7±12	939.5±18

注:表 1-表 7 数据引自报告《青海省都兰县乌拉斯太地区一带 J47E024003 等七幅矿调》,2013 年。

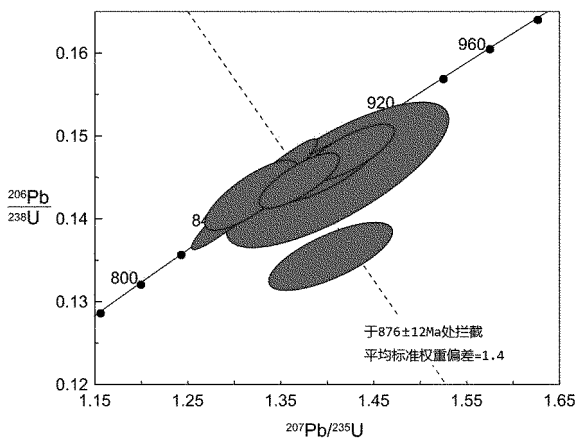


图 10 万宝沟群锆石 U-Pb 同位素测年谐和曲线

## 6 结论

东昆仑南部乌拉斯太地区万宝沟群火山岩是一套灰绿色变玄武岩夹灰—灰白色白云石大理岩的岩

石组合。主量元素分析显示,万宝沟群玄武岩类变质岩的环境应为洋中脊环境—岛弧环境—板内环境。微量元素分析显示万宝沟群变火山岩具幔源的来源特征;稀土元素分析显示万宝沟群变火山岩特征与大洋中脊玄武岩稀土元素的配分模式相近,综合判断万宝沟群玄武岩类变质岩的环境应为洋中脊环境—岛弧环境—板内环境。万宝沟群原岩恢复为火山岩夹碳酸盐岩的沉积建造,至少经历了 3 期变质作用演化。同位素测年显示万宝沟群成岩于中—新元古代。

## 参考文献:

- [1] 郭宪璞,王乃文,丁孝忠,等.东昆仑格尔木南部纳赤台群和万宝沟群基岩系统与外来系统地球化学差异[J].地质通报,2004,(12):1188-1195.
- [2] 张洪美,李海平,冯乔,等.柴达木盆地东南缘晚三叠世火山岩地球化学特征及构造环境分析[J].西北地质,2010,(4):15-22.
- [3] Sun S S and McDonough W F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and process[A].Geological Society Special Publication,1989,(42):313-345.
- [4] Sylvester P J. Post-collisional strongly peraluminous granites[J].Lithos,1998,(45):29-44.
- [5] 孙延贵,张国伟,郑健康,等.柴达木地块东南缘岩浆弧(带)形成的动力学背景[J].华南地质与矿产,2001,(4):16-21.
- [6] 王世进,万渝生,宋世勇,等.山东省前寒武纪地层形成时代——同位素地质测年的证据[J].山东国土资源,2011,27(11):1-6.

# Analysis on Geochemical Characteristics and Tectonic Environment of Volcanic Rocks of Wanbaogou Group in Wulasitai Area in South of Dongkunlun

WANG Chengguo<sup>1</sup>, DU Xianbiao<sup>2</sup>, XU Guoliang<sup>1</sup>

(1. No.1 Exploration Institute of Geology and Mineral Resources, Shandong Jinan 250014, China; 2. Lunan Geo-engineering Exploration Institute, Shandong Yanzhou 272100, China)

**Abstract:** Wanbaogou group in Wulasitai area in south of Dongkunlun is a set of gray green metabasalt clip ash—gray dolomite marble rock combination. Combining with petrology, geochemistry and isotope age study, the rock group is classified into Mesoproterozoic—Neoproterozoic Wanbaogou group. The layers in Wanbaogou group is a combination of basic meta—volcanics with marble lithologic assemblage, and original rock recovery is a sedimentary formation of volcanic rock with carbonate rock. The characteristics of major elements show that the volcanic rocks of Wanbaogou group has the evolution trend of mid ocean ridge tholeiite→ island arc tholeiite →intraplate calc alkaline basalt. Characteristics of rare earth elements are similar to island arc tholeiite slightly. Characteristics of trace elements are intraplate basalt→alkaline transition type. It is closer with transitional tholeiitic basalt. The diagenesis environment of volcanic rocks in Wanbaogou group is mid ocean ridge environment → island arc environment→intraplate environment.

**Key words:** Wanbaogou group; petrochemistry; metamorphism; tectonic environment; south of Dongkunlun