

# 东昆仑造山带诺木洪郭勒早古生代火山活动

朱云海<sup>1</sup>, 王国灿<sup>1</sup>, 贾春兴<sup>2</sup>, 林启祥<sup>1</sup>, 王青海<sup>2</sup>

(1. 中国地质大学地球科学学院, 湖北武汉 430074; 2. 青海省地质调查研究院, 青海西宁 810012)

**摘要:** 诺木洪郭勒一带发育早古生代火山岩, 可明显分为2种类型: 一类为基性火山岩组合, 岩石主要为具枕状构造的玄武岩,  $\text{SiO}_2$  碱度均较低, 为拉斑系列玄武岩, 稀土、微量元素特征及构造环境判别显示其形成于洋中脊的构造环境; 另一类为中基性火山岩组合, 火山岩岩石类型复杂, 熔岩和火山碎屑岩均较发育, 熔岩成分从基性到酸性均有, 火山岩  $\text{SiO}_2$  成分变化较大, 既有亚碱性, 又有碱性, 亚碱性系列岩石多属钙碱性系列, 稀土、微量元素特征及构造环境判别其形成于火山弧的环境。

**关键词:** 东昆仑造山带; 早古生代; 火山岩; 诺木洪郭勒。

**中图分类号:** P588.1      **文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-2383(2003)06-0606-09

**作者简介:** 朱云海(1964—), 男, 副教授, 1985年毕业于武汉地质学院, 主要从事造山带蛇绿岩、岩浆岩及造山带填图方法研究与教学工作。

## 0 引言

东昆仑造山带诺木洪郭勒地区发育一套基性—中基性火山岩(图1)。对该套火山岩的研究历史较长<sup>[1]</sup>, 但由于其主要是由火山岩组成, 共生的碳酸盐岩及变碎屑岩中化石较少, 故对该套火山岩的形成时代存在不同的认识<sup>[1~3]</sup>。青海省区调队在进行埃坑德勒斯特幅1:20万地质调查时, 根据火山岩南侧灰岩中发现的大量石炭纪化石而把该套以火山岩为主的地层划归为早石炭世哈拉郭勒群, 青海省区综队在进行1:5万海德郭勒等八幅联测区调填图时把该套地层划归为中晚元古代万宝沟群, 并在火山岩中获得 Sm—Nd 全岩等时线年龄(884.1±37.6)Ma, 同时把该套地层分解为具有先后时序的4个组(下碎屑岩组、火山岩组、碳酸盐岩组、上碎屑岩组), 并把南侧出露的一套浅变质的火山岩确定为石炭纪哈拉郭勒组。笔者在工作中对该套火山岩进行了实测剖面研究(图2, 3), 发现原1:5万填图中所划的万宝沟群实为一系列构造岩片组合体, 已不具备原来所谓的时间先后关系。根据其岩石组合, 把该

套地层分为基性火山岩组合、中基性火山岩组合、碳酸盐岩组合和碎屑岩组合。不同的岩石组合间多为断层接触, 火山岩主要存在于基性火山岩组合和中基性火山岩组合中。我们对不同部位的玄武岩进行了 SHRIMP U—Pb 法年龄的测定, 其中在基性火山岩组合具枕状构造的玄武岩中获得的年龄资料较好, 年龄为(419±5)Ma(另文发表), 同时在中基性火山岩组合玄武岩中获得了(401±6)Ma, 据此把诺木洪郭勒地区出露的该套火山岩为主的地层的时代限定为早古生代, 地层单位为早古生代纳赤台群(P<sub>z1</sub>N), 而把该套火山岩地层南侧以灰岩为主的地层的时代仍放在早石炭世哈拉郭勒组。

## 1 地质学特征

### 1.1 基性火山岩组合

基性火山岩组合分布于东昆中构造混杂岩带和东昆南早古生代构造混杂岩带内, 主要出露于诺木洪郭勒、巴隆一带, 火山岩出露的厚度较大, 主要由玄武岩组成(图2)。玄武岩枕状构造发育, 岩石整体变质程度较低, 野外枕状构造特征很清楚, 岩枕大小悬殊, 大者直径大于1m, 小者一般20~30cm, 不同大小的枕壳为隐晶质—玻璃质物质, 颜色较深, 为灰黑色, 向内结晶程度有所增加, 有些岩枕可能基性程

收稿日期: 2003-05-15

基金项目: 中国地质调查局1:25万阿拉克湖幅区域地质调查项目(No. 19991300004021); 高等学校全国优秀博士论文作者专项资金项目(No. 200228)。

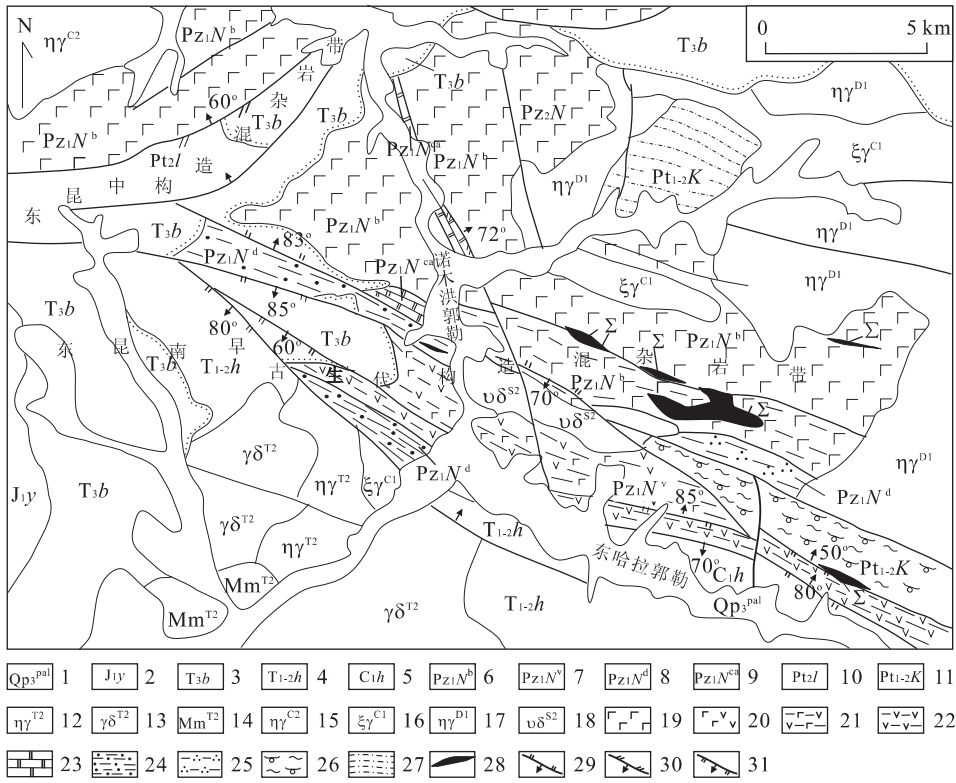


图 1 诺木洪地区地质简图

Fig. 1 Sketch geological map of Nuomuhong area

1. 第四纪冲洪积物; 2. 早侏罗世羊曲组; 3. 晚三叠世八宝山组; 4. 早中三叠世洪水川组; 5. 早石炭世哈拉郭勒组; 6~9. 早古生代纳赤台群; 6. 基性火山岩组合; 7. 中基性火山岩组合; 8. 碎屑岩组合; 9. 碳酸岩组合; 10. 狼牙山组; 11. 苦海岩群; 12. 中三叠世二长花岗岩; 13. 中三叠世花岗闪长岩; 14. 中三叠世浆混花岗岩; 15. 中石炭世二长花岗岩; 16. 早石炭世钾长花岗岩; 17. 早泥盆世二长花岗岩; 18. 中志留世辉石闪长岩; 19. 玄武岩; 20. 中基性火山岩; 21. 强片理化中基性火山岩; 22. 强片理化火山碎屑岩; 23. 大理岩; 24. 强片理化碎屑岩; 25. 变硅质岩糜棱岩; 26. 眼球状片麻岩; 27. 糜棱岩; 28. 超镁铁质岩; 29. 逆断层; 30. 斜冲断层; 31. 正断层

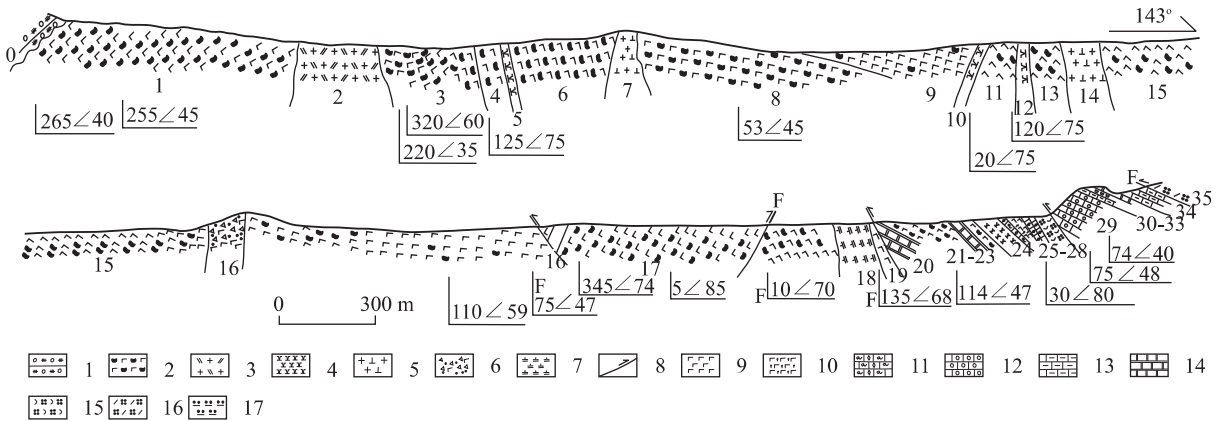


图 2 早古生代基性火山岩组合实测剖面

Fig. 2 Section of basalt slice of Early Paleozoic

1. 复成分砾岩; 2. 枕状玄武岩; 3. 二长花岗岩; 4. 英安斑岩; 5. 花斑岩; 6. 玄武质构造角砾岩; 7. 粗安岩; 8. 断层及运动方向; 9. 玻基玄武岩; 10. 玄武岩; 11. 条带状亮晶灰岩; 12. 砾屑灰岩; 13. 泥质灰岩; 14. 大理岩; 15. 玻屑凝灰岩; 16. 晶屑凝灰岩; 17. 硅质岩

度较高,内部结晶颗粒较粗,中心常可见空腔,其中充填方解石、绿泥石等。基质中明显可见斜长石及辉石微晶,斑晶可见辉石、橄榄石。有些岩枕可见同心圆状裂纹及放射状裂纹(图 4)。在巴隆一带,玄武岩

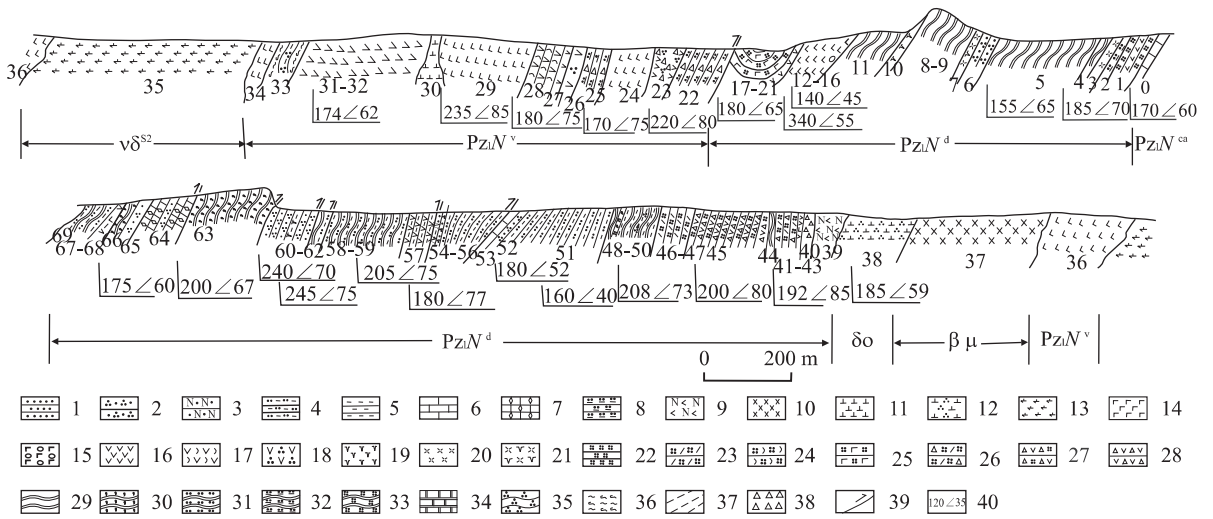


图 3 早古生代中基性火山岩组合实测剖面

Fig. 3 Section of metavolcanic slice of Early Paleozoic

1. 砂岩; 2. 石英砂岩; 3. 长石砂岩; 4. 泥质粉砂岩; 5. 泥质岩; 6. 灰岩; 7. 结晶灰岩; 8. 硅质岩; 9. 斜长角闪岩; 10. 辉绿岩; 11. 闪长岩; 12. 石英闪长岩; 13. 辉石闪长岩; 14. 玄武岩; 15. 杏仁状玄武岩; 16. 安山岩; 17. 玻基安山岩; 18. 石英安山岩; 19. 英安岩; 20. 流纹斑岩; 21. 英安流纹斑岩; 22. 凝灰岩; 23. 晶屑凝灰岩; 24. 玻屑凝灰岩; 25. 玄武质凝灰岩; 26. 含火山角砾晶屑凝灰岩; 27. 安山质凝灰角砾岩; 28. 安山质火山角砾岩; 29. 板岩; 30. 斑点状板岩; 31. 粉砂质板岩; 32. 硅质板岩; 33. 凝灰质板岩; 34. 大理岩; 35. 石英片岩; 36. 绿泥绿帘片岩; 37. 片理化; 38. 断层角砾岩及碎裂岩化; 39. 断层; 40. 产状

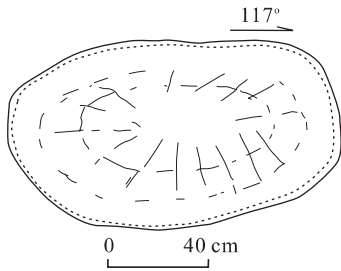


图 4 玄武岩枕裂隙素描

Fig. 4 Sketch map of fracture of pillow basalts

岩及各种类型凝灰岩、火山角砾岩。岩石蚀变、片理化强烈,斑晶矿物成分已大部分蚀变成绿泥石、绿帘石。

## 2 地球化学特征

对基性火山岩组合和中基性火山岩组合中火山岩进行了物质成分的测定,不同的火山岩组合在物质成分上具有明显的差异。

### 2.1 岩石化学特征

早古生代火山岩岩石化学分析结果见表 1。基性火山岩组合  $SiO_2$  质量分数较低,为 47.76%~53.00%,平均 49.27%, $ALK$  ( $ALK = w(K_2O) + w(Na_2O)$ ) 含量低,为 2.25%~4.93%,平均 3.27%,仅一个样品  $ALK = 5.92%$ ,达到碱性玄武岩的范围。 $SI$  值为 21.55%~36.94%,平均 31.61%,其中  $SI$  大于 30% 者占 60%,反映出岩浆的演化程度不高,接近于原始岩浆的性质。

在火山岩 TAS 分类命名图(图 5)<sup>[4]</sup> 中,基性火山岩组合除一个样品落在碱性的  $S_1$  区,为粗面玄武岩外,其他所有样品均落在 B 区,为亚碱性的玄武岩。在 AFM 图(图 6)<sup>[5]</sup> 中,绝大部分在拉斑玄武岩区,反映基性火山岩组合中的玄武岩多为拉斑玄武岩。

具强烈的构造变形,发育多条强劈理带,形成玄武质糜棱岩或玄武质初糜棱岩,暗色矿物多已绿泥石化、绿帘石化,但有时可以看出原岩的结构以及斜长石的斑晶。有时隐约可见其类似于枕状构造。

### 1.2 中基性火山岩组合

中基性火山岩组合主要见于诺木洪郭勒,位于基性火山岩组合的南侧,其间隔有碳酸盐岩组合和碎屑岩组合,与碎屑岩组合呈断层接触,岩石类型复杂,除火山岩外,还有硅质岩、灰岩、凝灰岩、碎屑岩等以夹层或互层的形式存在,岩石变形变质较强,常具有较强的片理化,硅质岩中常见褶皱,玄武岩中也可见褶皱,轴面南倾。火山岩岩石类型复杂,熔岩和火山碎屑岩均较发育,岩石组合主要为玄武岩、粗面安山岩、玄武质粗面安山岩、玄武安山岩、安山岩、英安

表 1 早古生代纳赤台混杂岩群火山岩化学分析结果

Table 1 Chemical analysis results of Early Paleozoic volcanic rocks

$w_B/\%$

样品号	岩性	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 <sup>+</sup>	CO <sub>2</sub>	Σ
AP <sub>9</sub> 1-1	玄武安山岩	53.00	1.30	13.69	3.17	6.10	0.11	4.23	6.25	4.55	0.38	0.13	3.45	3.40	99.76
AP <sub>9</sub> 3-1	玄武岩	51.14	1.12	13.61	0.27	9.18	0.18	5.48	10.53	3.19	0.21	0.11	2.48	1.93	99.43
AP <sub>9</sub> 4-1	粗玄武岩	48.80	1.00	13.46	3.94	7.77	0.19	8.04	10.44	2.78	0.44	0.10	2.71	0.11	99.78
AP <sub>9</sub> 6-1	玄武岩	48.06	1.05	13.45	1.96	9.53	0.20	8.13	8.97	2.90	0.22	0.10	3.40	1.81	99.78
AP <sub>9</sub> 8-1	玄武岩	50.42	1.09	12.23	2.40	9.07	0.18	7.39	10.23	3.81	0.05	0.10	2.40	0.34	99.71
AP <sub>9</sub> 9-1	玄武岩	48.61	1.06	13.39	1.88	8.68	0.19	7.41	12.57	2.65	0.30	0.10	2.76	0.19	99.79
AP <sub>9</sub> 13-1	玄武岩	48.60	1.21	13.53	2.61	10.20	0.23	6.87	11.41	2.30	0.37	0.11	2.30	0.04	99.78
AP <sub>9</sub> 15-1	粗玄武岩	49.07	1.00	14.06	1.62	9.35	0.19	7.65	12.58	2.06	0.19	0.08	1.88	0.07	99.80
AP <sub>9</sub> 17-1	玄武岩	48.59	1.33	13.43	2.67	10.58	0.22	7.34	9.03	2.56	0.95	0.12	2.48	0.11	99.41
AP <sub>9</sub> 26-1	微晶玄武岩	47.76	0.73	11.52	3.59	5.08	0.14	4.41	18.38	4.04	0.11	0.06	2.26	1.71	99.79
2AP <sub>7</sub> GS2-1*	玄武岩	50.07	1.51	13.50	3.30	9.33	0.20	6.99	10.61	2.20	0.38	0.14	0.32	2.38	100.93
2AP <sub>7</sub> GS8-1*	枕状玄武岩	48.09	1.54	13.12	2.87	10.86	0.22	6.70	11.22	2.34	0.28	0.14	0.28	2.63	100.29
2AP <sub>7</sub> GS8-2*	枕状玄武岩	48.29	1.26	13.59	2.33	10.69	0.22	6.73	10.57	2.55	1.01	0.14	0.32	2.91	100.61
2AP <sub>7</sub> GS48-2*	玄武岩	48.27	1.10	13.95	1.91	9.92	0.20	7.36	11.57	2.29	0.70	0.16	0.32	2.66	100.41
2BGS307-2*	粗面玄武岩	50.28	1.05	18.05	2.80	6.34	0.19	4.06	5.55	3.45	2.47	0.32	0.28	6.13	100.97
AP <sub>12</sub> 13-2	玄武岩	48.54	0.84	16.37	1.40	7.35	0.15	7.68	8.33	3.71	0.83	0.19	3.72	0.41	99.52
AP <sub>12</sub> 16-1	玄武岩	46.75	0.42	9.60	4.01	5.15	0.17	11.01	13.97	2.17	0.69	0.13	2.19	3.40	99.66
AP <sub>12</sub> 16-2	蚀变玄武岩	48.62	0.37	8.93	5.44	4.16	0.20	7.23	16.08	3.29	0.25	0.14	1.81	3.48	99.99
AP <sub>12</sub> 24-1	①	54.86	0.95	15.73	0.76	5.30	0.10	3.58	5.34	4.18	2.62	0.20	2.86	3.26	99.74
AP <sub>12</sub> 31-1	安山岩	62.43	0.97	15.59	0.65	5.43	0.13	1.98	3.74	3.90	2.63	0.38	1.80	0.11	99.74
AP <sub>12</sub> 37-1	玄武岩	49.28	1.23	16.02	1.75	6.58	0.15	7.55	9.14	2.61	1.94	0.20	2.93	0.37	99.75
AP <sub>12</sub> 41-1	玄武安山岩	53.05	0.65	15.30	1.46	5.35	0.12	4.40	7.22	3.77	0.72	0.19	3.62	3.93	99.78
AP <sub>12</sub> 49-1	①	50.54	0.70	19.31	0.78	9.02	0.12	3.86	2.89	5.68	0.94	0.16	4.13	1.68	99.81
AP <sub>12</sub> 61-1	英安岩	63.65	0.46	15.04	1.75	3.20	0.12	1.98	3.17	4.84	1.31	0.16	2.23	1.91	99.82
AP <sub>12</sub> 68-2	粗面玄武岩	47.89	0.80	18.62	1.31	9.58	0.18	6.14	2.98	4.01	1.02	0.26	5.29	1.68	99.76
2BGS <sub>12</sub> 2-1*	①	55.12	1.61	16.23	1.40	5.45	0.10	2.99	4.38	4.19	1.85	0.46	0.18	6.29	100.25
IP <sub>11</sub> GS12-1*	①	55.01	0.51	14.74	4.70	0.82	0.09	2.63	8.29	7.25	0.29	0.09	0.01	6.33	100.76
T <sub>13</sub> GS6*	玄武安山岩	55.36	0.71	15.93	2.30	6.93	0.15	5.16	5.68	3.28	0.54	0.14	0.01	3.55	99.74
IP <sub>11</sub> GS9-1*	玄武岩	51.49	0.63	14.87	2.44	5.03	0.13	4.91	12.96	1.60	0.90	0.11	0.01	4.80	99.88

资料来源: \* 据海德郭勒等八幅 1:5 万区调报告,其他为本队实测,测试单位:湖北省地质实验研究中心;①玄武质粗面安山岩。

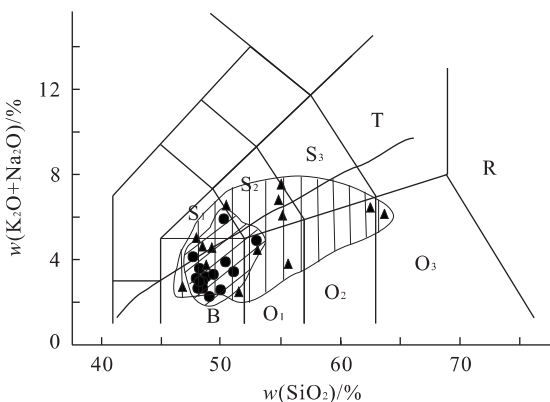


图 5 早古生代火山岩 TAS 图<sup>[4]</sup>

Fig. 5 TAS diagram of Early Paleozoic volcanic rocks  
B. 玄武岩; O<sub>1</sub>. 玄武安山岩; O<sub>2</sub>. 安山岩; O<sub>3</sub>. 英安岩; R. 流纹岩;  
S<sub>1</sub>. 粗面玄武岩; S<sub>2</sub>. 玄武质粗面安山岩; S<sub>3</sub>. 粗面安山岩; 其他符  
号略(图中碱性亚碱性界线据 Irvine 和 Barager<sup>[5]</sup>); ▲ 基性火山  
岩组合(斜线区); ● 中基性火山岩组合(竖线区)

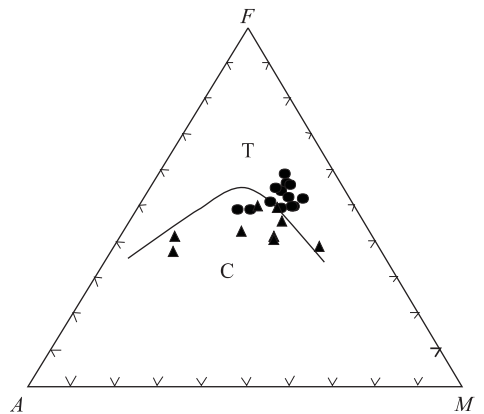


图 6 早古生代火山岩 AFM 图<sup>[5]</sup>

Fig. 6 AFM diagram of Early Paleozoic volcanic rocks  
T. 拉斑玄武岩系列; C. 钙碱性系列; ▲ 基性火山岩组合; ● 中  
基性火山岩组合

中基性火山岩组合岩石组合较复杂,火山岩  
SiO<sub>2</sub>成分变化较大,变化范围为46.75%~63.65%,

表 2 早古生代纳赤台混杂岩群火山岩稀土元素分析结果及球粒陨石标准化值

Table 2 Analysis results of REE and meteorite standardized values of Early Paleozoic volcanic rocks  $\omega_B/10^{-6}$ 

样品号	岩石名称	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Y
AP <sub>9</sub> 1-1	玄武岩	4.47	11.35	1.84	8.73	2.44	1.01	3.68	0.63	4.24	0.87	2.53	0.41	2.59	0.41	23.95
AP <sub>9</sub> 3-1	玄武岩	4.31	10.91	1.61	7.29	1.92	0.88	2.86	0.48	3.16	0.62	1.80	0.29	1.73	0.28	16.75
AP <sub>9</sub> 4-1	粗玄武岩	3.49	8.16	1.34	6.34	1.73	0.83	2.73	0.48	3.33	0.66	1.93	0.30	1.91	0.31	17.34
AP <sub>9</sub> 6-1	玄武岩	3.87	8.41	1.36	6.19	1.72	0.83	2.76	0.46	3.14	0.64	1.83	0.30	1.91	0.30	17.29
AP <sub>9</sub> 8-1	玄武岩	5.35	10.83	1.53	6.84	1.83	0.83	2.86	0.51	3.36	0.67	2.00	0.32	2.03	0.32	17.91
AP <sub>9</sub> 9-1	玄武岩	3.81	9.26	1.37	6.36	1.61	0.86	2.78	0.46	3.18	0.62	1.76	0.27	1.72	0.28	16.15
AP <sub>9</sub> 13-1	玄武岩	3.99	9.04	1.51	7.09	1.87	1.04	2.94	0.51	3.48	0.68	1.99	0.31	1.93	0.32	18.31
AP <sub>9</sub> 15-1	粗玄武岩	3.19	7.51	1.31	5.42	1.56	0.81	2.50	0.44	2.96	0.60	1.60	0.27	1.67	0.28	15.26
AP <sub>9</sub> 17-1	玄武岩	4.47	12.32	1.74	8.33	2.24	1.11	3.63	0.59	4.09	0.82	2.40	0.38	2.40	0.38	22.34
AP <sub>9</sub> 26-1	微晶玄武岩	2.52	5.80	0.99	4.22	1.43	0.62	2.15	0.36	2.48	0.47	1.40	0.22	1.39	0.21	13.23
AP <sub>12</sub> 13-1	变玄武岩	8.24	20.33	2.53	10.35	2.43	0.87	2.70	0.44	2.80	0.55	1.57	0.25	1.59	0.24	14.15
AP <sub>12</sub> 13-2	玄武岩	13.11	29.79	3.45	14.43	3.18	1.07	3.33	0.52	3.25	0.65	1.99	0.31	1.95	0.30	18.35
AP <sub>12</sub> 16-1	①	11.95	26.47	3.63	13.90	2.78	0.80	2.26	0.30	1.72	0.31	0.84	0.14	0.83	0.13	8.31
AP <sub>12</sub> 16-2	蚀变玄武岩	10.39	24.06	2.76	10.67	2.18	0.55	1.68	0.23	1.23	0.24	0.65	0.11	0.61	0.09	6.58
AP <sub>12</sub> 24-1	粗面安山岩	18.85	46.39	5.52	21.01	4.39	1.17	4.49	0.65	3.99	0.76	2.15	0.34	2.21	0.33	22.34
AP <sub>12</sub> 31-1	英安岩	43.52	104.60	11.43	44.11	7.76	2.06	7.16	1.03	6.24	1.25	3.70	0.57	3.91	0.63	36.61
AP <sub>12</sub> 37-1	玄武岩	16.55	38.47	5.07	20.00	4.20	1.42	4.45	0.65	3.97	0.75	2.07	0.31	1.98	0.30	20.65
AP <sub>12</sub> 41-1	安山岩	16.16	31.80	3.80	14.67	2.89	0.81	2.98	0.44	2.82	0.56	1.65	0.26	1.67	0.26	15.81
AP <sub>12</sub> 49-1	②	9.55	19.22	2.48	10.76	2.13	0.70	2.54	0.38	2.58	0.49	1.56	0.24	1.66	0.24	12.56
AP <sub>12</sub> 61-1	英安岩	15.17	37.87	4.31	15.19	2.63	0.81	2.78	0.40	2.48	0.51	1.51	0.25	1.86	0.30	14.81
AP <sub>12</sub> 68-2	②	62.18	123.50	14.98	55.25	7.89	2.36	5.33	0.65	3.12	0.59	1.42	0.21	1.30	0.19	13.85
球粒陨石标准化值																
AP <sub>9</sub> 1-1	玄武岩	12.18	11.86	13.43	12.28	10.56	11.22	11.87	10.86	11.13	10.22	10.16	11.52	10.44	10.63	10.64
AP <sub>9</sub> 3-1	玄武岩	11.74	11.40	11.75	10.25	8.31	9.78	9.23	8.28	8.29	7.29	7.23	8.15	6.98	7.24	7.44
AP <sub>9</sub> 4-1	粗玄武岩	9.51	8.53	9.78	8.92	7.49	9.22	8.81	8.28	8.74	7.76	7.75	8.43	7.70	8.24	7.71
AP <sub>9</sub> 6-1	玄武岩	10.54	8.79	9.93	8.71	7.45	9.22	8.90	7.93	8.24	7.52	7.35	8.43	7.70	7.95	7.68
AP <sub>9</sub> 8-1	玄武岩	14.58	11.32	11.17	9.62	7.92	9.22	9.23	8.79	8.82	7.87	8.03	8.99	8.19	8.40	7.96
AP <sub>9</sub> 9-1	玄武岩	10.38	9.68	10.00	8.95	6.97	9.56	8.97	7.93	8.35	7.29	7.07	7.58	6.94	7.30	7.18
AP <sub>9</sub> 13-1	玄武岩	10.87	9.45	11.02	9.97	8.10	11.56	9.48	8.79	9.13	7.99	7.99	8.71	7.78	8.27	8.14
AP <sub>9</sub> 15-1	粗玄武岩	8.69	7.85	9.56	7.62	6.75	9.00	8.06	7.59	7.77	7.05	6.43	7.58	6.73	7.32	6.78
AP <sub>9</sub> 17-1	玄武岩	12.18	12.87	12.70	11.72	9.70	12.33	11.71	10.17	10.73	9.64	9.64	10.67	9.68	10.05	9.93
AP <sub>9</sub> 26-1	微晶玄武岩	6.87	6.06	7.23	5.94	6.19	6.89	6.94	6.21	6.51	5.52	5.62	6.18	5.60	5.54	5.88
AP <sub>12</sub> 13-1	变玄武岩	22.45	21.24	18.47	14.56	10.52	10.00	8.82	7.59	7.35	6.46	6.31	7.02	6.41	6.17	6.74
AP <sub>12</sub> 13-2	玄武岩	35.72	31.13	25.18	20.30	13.77	12.30	10.88	8.97	8.53	7.64	7.99	8.71	7.86	7.82	8.74
AP <sub>12</sub> 16-1	①	32.56	27.66	26.50	19.55	12.03	9.20	7.39	5.17	4.51	3.64	3.37	3.93	3.35	3.31	3.96
AP <sub>12</sub> 16-2	蚀变玄武岩	28.31	25.14	20.15	15.01	9.44	6.32	5.49	3.97	3.23	2.82	2.61	3.09	2.46	2.39	3.13
AP <sub>12</sub> 24-1	粗面安山岩	51.36	48.47	40.29	29.55	19.00	13.45	14.67	11.21	10.47	8.93	8.63	9.55	8.91	8.61	10.64
AP <sub>12</sub> 31-1	英安岩	118.58	109.30	83.43	62.04	33.59	23.68	23.40	17.76	16.38	14.69	14.86	16.01	15.77	16.54	17.43
AP <sub>12</sub> 37-1	玄武岩	45.10	40.20	37.01	28.13	18.18	16.32	14.54	11.21	10.42	8.81	8.31	8.71	7.98	7.87	9.83
AP <sub>12</sub> 41-1	安山岩	44.03	33.23	27.74	20.63	12.51	9.31	9.74	7.59	7.40	6.58	6.63	7.30	6.73	6.88	7.53
AP <sub>12</sub> 49-1	②	26.02	20.08	18.10	15.13	9.22	8.05	8.30	6.55	6.77	5.76	6.27	6.74	6.69	6.30	5.98
AP <sub>12</sub> 61-1	英安岩	41.34	39.57	31.46	21.36	11.39	9.31	9.08	6.90	6.51	5.99	6.06	7.02	7.50	7.87	7.05
AP <sub>12</sub> 68-2	②	169.43	129.05	109.34	77.71	34.16	27.13	17.42	11.21	8.19	6.93	5.70	5.90	5.24	5.04	6.60

测试单位:湖北省地质实验研究中心,球粒陨石标准化值据 Taylor 和 McLennan<sup>[6]</sup>;①绿泥石化玄武岩;②玄武质粗面安山岩。

平均 53.04%, ALK 为 2.50% ~ 7.54%, 平均 5.07%, 反映既有亚碱性, 又有碱性,  $\sigma$  值最高可达 5.81, 反映部分岩石碱性程度较高, 在 TAS 图中中基性火山岩组合投点较分散, 岩石类型主要为玄武岩、粗面安山岩、玄武质粗面安山岩、玄武安山岩、安

山岩、英安岩, 同时, 火山岩的碱度也有很大差异, 既有碱性系列, 又有亚碱性系列, 亚碱性系列岩石在 AFM 图中除个别点落在拉斑玄武岩和钙碱性系列过渡区外, 大部分样品落在钙碱性系列区。所以, 中基性火山岩组合主要由碱性和钙碱性岩石组成, 这

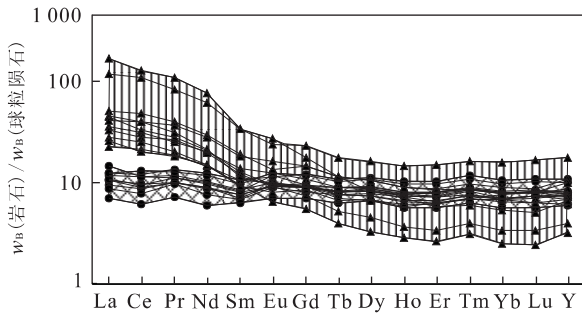


图 7 早古生代火山岩稀土配分曲线

Fig. 7 REE distribution patterns of Early Paleozoic volcanic rocks

● 基性火山岩组合(阴影区); ▲ 中基性火山岩组合(竖线区)

样的岩石组合反映的环境可能为火山弧或岛弧。

### 2.2 稀土元素特征

早古生代火山岩的稀土元素分析结果及球粒陨石标准化值<sup>[6]</sup>见表 2。基性火山岩组合中的玄武岩稀土总量较低,轻重稀土分馏不明显,  $w(La)_n/w(Lu)_n = 1.14 \sim 1.73$ , 平均 1.33,  $w(La)_n/w(Y)_n = 1.14 \sim 1.83$ , 平均 1.36,  $\delta(Eu) = 1.00 \sim 1.31$ , 平均 1.14, Eu 正异常不太显著, 稀土配分曲线(图 7)为平坦型, 无轻稀土富集或亏损, 与正常洋中脊拉斑玄武岩稀土配分曲线相近。

中基性火山岩组合中火山岩的稀土总量较基性火山岩组合高, 轻稀土富集, 重稀土亏损, 轻、重稀土分馏明显,  $w(La)/w(Lu)_n = 2.73 \sim 33.62$ , 平均 8.02。除个别样品  $\delta(Eu) > 1$  外, 多数样品  $\delta(Eu) < 1$ , 平均为 0.87, 具轻微的 Eu 负异常。稀土配分曲线(图 7)表现为明显右倾的轻稀土富集型, 总体与岛弧火山岩稀土配分曲线相近。从稀土配分形式上看基性火山岩组合与中基性火山岩组合具有明显的差异, 基性火山岩组合中的玄武岩配分曲线均为平坦

型(图 7 中的阴影区), 而变火山岩样品的稀土配分曲线均为向右倾的轻稀土富集型(图 7 中的竖线区), 反映了两组间在岩浆来源及形成环境等方面存在一定的差异。

### 2.3 微量元素特征

早古生代火山岩微量元素分析结果及 MORB 标准化值<sup>[7]</sup>见表 3。比值蛛网图见图 8。从表 3 和图 8 中可以看出, 玄武岩组合中玄武岩活动性较强的大离子亲石元素(Rb、Ba、Th 等)富集, 活动性不强的高场强元素(Ce、Zr、Hf、Y 等)接近于 MORB, 比值接近于 1, 活动性较强的元素在部分熔融时易进入岩浆而使其丰度增加, 不活动的元素只有在部分熔融程度较高时才进入熔体, 从玄武岩微量元素比值蛛网图看, 其分布形式与洋中脊玄武岩的分布形式相类似, 接近于大西洋中脊玄武岩或亚丁湾玄武岩。

中基性火山岩组合中火山岩大离子亲石元素(K、Rb、Ba、Th、Ta 等)均较富集, 比 MORB 高, 同时其轻稀土(Ce)也较富集, 重稀土及高场强元素亏损。其在比值蛛网图中的曲线形态与基性火山岩组合有很大差别, 基性火山岩组合中火山岩一般只有一个峰值, 常位于 Th 附近, 而中基性火山岩组合中多数样品在 Rb 和 Th 附近存在 2 个峰值, Ba 略亏损, 形成一个谷, 同时由于 Ce 的富集, 在 Ce 附近也形成一个峰, 其比值蛛网图的分布样式与火山弧类型中智利火山岩相近, 代表了火山弧的环境。

## 3 构造环境分析

本区早古生代火山活动主要赋存于基性火山岩组合和中基性火山岩组合中, 不同的岩石组合中火山岩在岩石化学、地球化学等方面存在着很大差异,

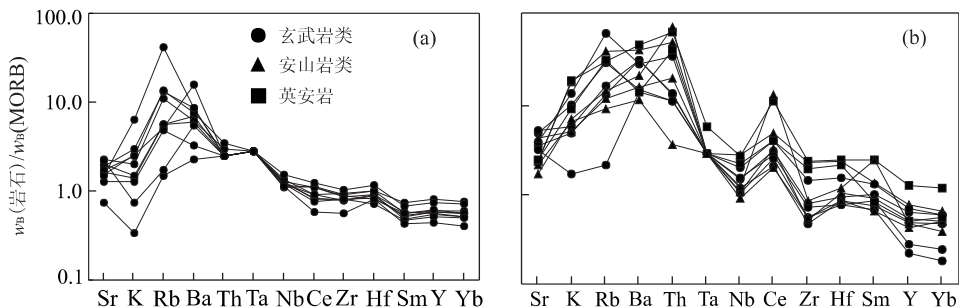


图 8 早古生代火山岩微量元素比值蛛网图

Fig. 8 Spider diagram of trace elements of Early Paleozoic volcanic rocks

a. 基性火山岩组合; b. 中基性火山岩组合



表 3 早古生代火山岩微量元素分析结果及 MORB 标准化值

Table 3 Analysis results of trace elements and MORB standardized values of Early Paleozoic volcanic rocks

 $\omega_B/10^{-6}$ 

样品号	岩石名称	Co	Ni	Cu	Cr	Sr	Rb	Hf	Zr	Nb	Th	Pb	Ta	Ba
AP <sub>9</sub> 1-1	玄武岩	29.0	41.0	156.6	90.8	181	10.4	2.5	82.1	3.8	0.5	3.8	0.5	314
AP <sub>9</sub> 3-1	玄武岩	35.2	71.4	138.4	174.4	196	11.4	2.3	78.4	4.1	0.5	14.0	0.5	137
AP <sub>9</sub> 4-1	粗玄武岩	46.0	103.2	136.7	238.6	225	26.0	2.1	72.2	4.4	0.5	14.1	0.5	174
AP <sub>9</sub> 6-1	玄武岩	45.2	93.9	134.0	201.9	244	11.2	2.2	69.7	4.3	0.5	19.4	0.5	120
AP <sub>9</sub> 8-1	玄武岩	44.2	84.1	119.7	158.9	89	3.0	2.0	80.4	4.4	0.5	13.1	0.5	45
AP <sub>9</sub> 9-1	玄武岩	40.0	99.3	147.8	220.2	273	21.7	2.3	71.3	4.2	0.6	17.0	0.5	124
AP <sub>9</sub> 13-1	玄武岩	45.5	83.6	147.0	110.4	207	27.0	2.5	85.2	4.8	0.7	14.6	0.5	154
AP <sub>9</sub> 15-1	粗玄武岩	42.3	79.7	136.6	127.6	152	9.8	1.8	73.0	4.2	0.5	10.9	0.5	65
AP <sub>9</sub> 17-1	玄武岩	45.1	71.2	167.0	121.6	176	83.7	2.9	92.7	5.3	0.5	35.8	0.5	174
AP <sub>9</sub> 26-1	微晶玄武岩	37.3	136.5	86.7	264.0	266	3.4	2.0	51.3	3.9	0.5	13.7	0.5	108
AP <sub>12</sub> 13-1	变玄武岩	35.90	64.60	72.20	89.60	555.00	55.90	2.00	42.20	4.00	2.10	18.70	0.50	284.00
AP <sub>12</sub> 13-2	玄武岩	28.50	102.60	47.00	240.80	594.00	31.60	2.20	69.40	5.10	2.50	13.30	0.50	606.00
AP <sub>12</sub> 16-1 ①		56.00	248.00	24.70	946.10	401.00	24.90	1.80	62.70	5.20	2.60	21.40	0.50	595.00
AP <sub>12</sub> 16-2	蚀变玄武岩	34.60	157.70	47.90	645.50	362.00	4.20	1.80	49.70	3.50	2.10	20.60	0.50	265.00
AP <sub>12</sub> 24-1	粗面安山岩	16.70	13.50	13.10	80.60	278.00	74.10	5.50	196.20	9.50	9.60	15.40	0.50	773.00
AP <sub>12</sub> 31-1	英安岩	5.50	3.70	8.10	8.00	271.00	57.40	5.70	203.90	9.10	12.10	19.90	1.00	876.00
AP <sub>12</sub> 37-1	玄武岩	32.40	40.80	30.00	185.70	446.00	117.60	3.60	126.90	6.90	6.50	30.00	0.50	545.00
AP <sub>12</sub> 41-1	安山岩	17.30	16.50	57.50	33.70	490.00	22.40	2.40	46.30	3.70	3.80	17.60	0.50	298.00
AP <sub>12</sub> 49-1 ②		20.00	8.70	138.70	19.10	246.00	17.40	2.00	48.30	3.10	0.70	2.20	0.50	221.00
AP <sub>12</sub> 61-1	英安岩	7.30	2.90	13.30	11.80	283.00	60.20	4.90	168.70	7.40	7.70	13.10	0.50	263.00
AP <sub>12</sub> 68-2 ②		45.60	28.90	101.70	17.50	196.00	27.60	2.80	74.10	4.10	14.10	16.40	0.50	407.00

## MORB 标准化值

样品号	岩石名称	Sr	K	Rb	Ba	Th	Ta	Nb	Ce	Zr	Hf	Sm	Y	Yb
AP <sub>9</sub> 1-1	玄武岩	1.51	2.53	5.20	15.70	2.50	2.78	1.09	1.14	0.91	1.00	0.74	0.80	0.76
AP <sub>9</sub> 3-1	玄武岩	1.63	1.40	5.70	6.85	2.50	2.78	1.17	1.09	0.87	0.92	0.58	0.56	0.51
AP <sub>9</sub> 4-1	粗玄武岩	1.88	2.93	13.00	8.70	2.50	2.78	1.26	0.82	0.80	0.84	0.52	0.58	0.56
AP <sub>9</sub> 6-1	玄武岩	2.03	1.47	5.60	6.00	2.50	2.78	1.23	0.84	0.77	0.88	0.52	0.58	0.56
AP <sub>9</sub> 8-1	玄武岩	0.74	0.33	1.50	2.25	2.50	2.78	1.26	1.08	0.89	0.80	0.55	0.60	0.60
AP <sub>9</sub> 9-1	玄武岩	2.28	2.00	10.85	6.20	3.00	2.78	1.20	0.93	0.79	0.92	0.49	0.54	0.51
AP <sub>9</sub> 13-1	玄武岩	1.73	2.47	13.50	7.70	3.50	2.78	1.37	0.90	0.95	1.00	0.57	0.61	0.57
AP <sub>9</sub> 15-1	粗玄武岩	1.27	1.27	4.90	3.25	2.50	2.78	1.20	0.75	0.81	0.72	0.47	0.51	0.49
AP <sub>9</sub> 17-1	玄武岩	1.47	6.33	41.85	8.70	2.50	2.78	1.51	1.23	1.03	1.16	0.68	0.74	0.71
AP <sub>9</sub> 26-1	微晶玄武岩	2.22	0.73	1.70	5.40	2.50	2.78	1.11	0.58	0.57	0.80	0.43	0.44	0.41
AP <sub>12</sub> 13-1	变玄武岩	4.63	9.67	27.95	14.20	10.50	2.78	1.14	2.03	0.47	0.83	0.74	0.47	0.47
AP <sub>12</sub> 13-2	玄武岩	4.95	5.53	15.80	30.30	12.50	2.78	1.46	2.98	0.77	0.92	0.96	0.61	0.57
AP <sub>12</sub> 16-1 ①		3.34	4.60	12.45	29.75	13.00	2.78	1.49	2.65	0.70	0.75	0.84	0.28	0.24
AP <sub>12</sub> 16-2	蚀变玄武岩	3.02	1.66	2.10	13.25	10.50	2.78	1.00	2.41	0.55	0.75	0.66	0.22	0.18
AP <sub>12</sub> 24-1	粗面安山岩	2.32	17.47	37.05	38.65	48.00	2.78	2.71	4.64	2.18	2.29	1.33	0.74	0.65
AP <sub>12</sub> 31-1	英安岩	2.26	17.53	28.70	43.80	60.50	5.56	2.60	10.46	2.27	2.38	2.35	1.22	1.15
AP <sub>12</sub> 37-1	玄武岩	3.72	12.93	58.80	27.25	32.50	2.78	1.97	3.85	1.41	1.50	1.27	0.69	0.58
AP <sub>12</sub> 41-1	安山岩	4.08	4.80	11.20	14.90	19.00	2.78	1.06	3.18	0.51	1.00	0.88	0.53	0.49
AP <sub>12</sub> 49-1 ②		2.05	6.27	8.70	11.05	3.50	2.78	0.89	1.92	0.54	0.83	0.65	0.42	0.49
AP <sub>12</sub> 61-1	英安岩	2.36	8.73	30.10	13.15	38.50	2.78	2.11	3.79	1.87	2.04	0.80	0.49	0.55
AP <sub>12</sub> 68-2 ②		1.63	6.80	13.80	20.35	70.50	2.78	1.17	12.35	0.82	1.17	2.39	0.46	0.38

测试单位:湖北省地质实验研究中心, MORB 标准化值据 Pearce<sup>[7]</sup>; ①绿泥石化玄武岩; ②玄武质粗面安山岩.

反映它们形成的构造环境也不一样,其中基性火山岩组合主要由拉斑玄武岩组成,稀土配分曲线为平坦型,具洋脊玄武岩的特征,微量元素成分也反映了其形成于洋脊环境,而中基性火山岩组合的火山岩岩石组合较复杂,既有熔岩,又有火山碎屑岩,熔岩

中从基性到中酸性均有,有时岩石的碱度变化也较大,既有碱性,也有亚碱性,且亚碱性者多为钙碱性的火山岩,稀土配分曲线多为右倾的轻稀土富集型,反映了其与俯冲有一定的联系.在  $\omega(\text{TiO}_2)$ - $\omega(\text{K}_2\text{O})$ - $\omega(\text{P}_2\text{O}_5)$  图<sup>[8]</sup>(图9)中,基性火山岩组合

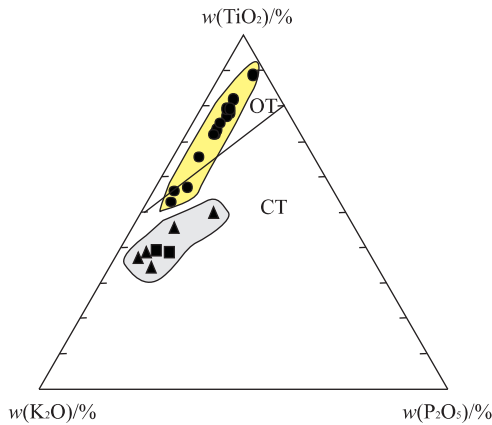


图 9 早古生代火山岩  $w(K_2O)-w(TiO_2)-w(P_2O_5)$  图  
 Fig. 9 Diagram of  $w(K_2O)-w(TiO_2)-w(P_2O_5)$  of Early Paleozoic volcanic rocks

OT. 大洋拉斑玄武岩; CT. 大陆拉斑玄武岩; 基性火山岩组合:  
 ● 玄武岩; 中基性火山岩组合; ▲ 玄武岩; ■ 玄武质粗面安山岩

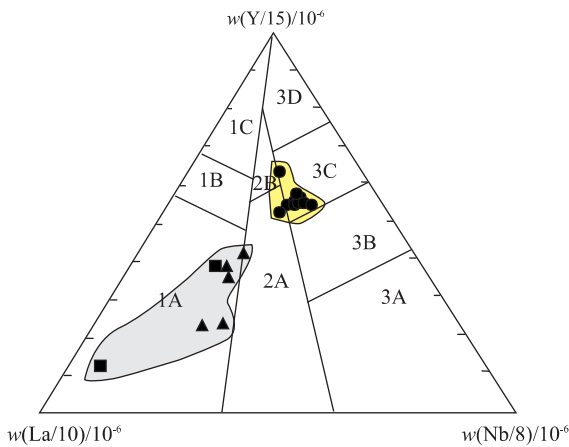


图 10 早古生代火山岩  $w(Y/15)-w(La/10)-w(Nb/8)$  图  
 Fig. 10 Diagram of  $w(Y/15)-w(La/10)-w(Nb/8)$  of Early Paleozoic volcanic rocks

1. 火山弧: 1A. 钙碱性玄武岩; 1B. 地槽区; 1C. 火山弧拉斑玄武岩;  
 2. 大陆玄武岩: 2A. 大陆玄武岩; 2B. 弧后盆地玄武岩; 3. 大洋玄武岩: 3A. 陆内裂谷碱性玄武岩; 3B, 3C. E-MORB 型(B 富集, C 略富集); 3D. N-MORB 型; 基性火山岩组合: ● 玄武岩; 中基性火山岩组合: ▲ 玄武岩; ■ 玄武质粗面安山岩

的玄武岩绝大部分落在大洋区, 为大洋拉斑玄武岩, 而中基性火山岩组合的玄武岩及玄武质粗面安山岩样品则全部落在大陆区。在  $w(La)/10-w(Y)/15-w(Nb)/8$  与构造环境关系图(图 10)<sup>[9]</sup> 中基性火山岩组合中的玄武岩样品大部分落在 3C 区, 少数落在 2A 区, 但也与 3C 区接近, 为略富集的 E-MORB 型玄武岩, 代表了洋中脊的构造环境, 而中基性火山岩组合的玄武岩和玄武质粗面安山岩样

品, 主要落在 1A 区, 为火山弧钙碱性玄武岩。

## 4 结论

(1) 诺木洪郭勒地区出露的火山岩为早古生代纳赤台群, 由 2 种不同类型的火山岩组成, 分别称之为基性火山岩组合和中基性火山岩组合, 两者在岩石组合、物质成分、构造环境等方面存在明显的差异。(2) 基性火山岩组合主要由玄武岩组成, 具典型的枕状构造, 岩石  $SiO_2$  质量分数低, 平均 49.27%, 碱含量低, 平均 3.27%, 为典型的拉斑玄武岩。SI 值高, 反映出岩浆的演化程度不高, 接近于原始岩浆的成分。其稀土总量较低, 稀土配分曲线为平坦型。大离子亲石元素富集, 高场强元素接近于 MORB, 稀土配分曲线与微量元素分布型式与洋中脊玄武岩类似, 接近于大西洋中脊玄武岩或亚丁湾玄武岩。(3) 中基性火山岩组合中火山岩成分复杂,  $SiO_2$  成分变化较大, 碱度也有很大差异, 既有碱性系列, 又有钙碱性系列。稀土总量明显较高, 轻稀土富集, 稀土配分曲线为明显右倾的轻稀土富集型。大离子亲石元素较富集, 重稀土及高场强元素亏损。稀土配分曲线和微量元素分布样式与火山弧火山岩类似。(4) 构造环境判别反映两者间形成的构造环境有明显的差别。不同的构造环境图解均反映出基性火山岩组合形成于大洋的构造环境, 为洋脊拉斑玄武岩。中基性火山岩组合反映出的构造环境为火山弧。(5) 基性火山岩和中基性火山岩在空间上相距不远, 但物质成分、岩石组合明显不同, 代表了不同构造环境下的产物, 反映在造山带尤其是缝合带附近往往可以发育不同的构造岩片, 同时也反映出该套火山岩形成时的大洋并不是一个干净的大洋, 其中有些其他的块体, 所以反映出的构造环境不一致。

参加野外工作的还有向树元、安守文、朱耀生、拜永山、王发明、邓中林、张智勇、张克信等, 在此表示衷心的感谢。

## 参考文献:

[1] 青海地矿局. 1:20 万埃坑德勒斯特幅区域地质调查报告[R]. 北京:地质出版社, 1982.  
 Bureau of Geology and Mineral Resources of Qinghai Province. 1:200 000 regional geological report of Alk-endelesite map [R]. Beijing: Geological Publishing House, 1982.



- [2] 青海省区调综合大队. 海德郭勒等八幅 1 : 5 万联测报告[R]. 北京:地质出版社,1996.  
Integrate Geological Survey Team of Qinghai Province. Couplet geological survey report of eight 1 : 50 000 mapping [R]. Beijing: Geological Publishing House, 1996.
- [3] 潘裕生,周伟明,许荣华,等. 昆仑山早古生代地质特征与演化[J]. 中国科学(D辑),1996, 26(4): 302—307.  
PAN Y S, ZHOU W M, XU R H, et al. Early geological characteristics and evolution of Kunlun Mountains [J]. Science in China (Series D), 1996, 26(4): 302—307.
- [4] Le Bas M J. A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali-silica diagram [J]. J Petrol, 1986, 27: 745—750.
- [5] Irvine T N, Barager W R A. A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks [J]. Can J Earth Sci, 1971, 523—548.
- [6] Taylor S R, McLennan S M. The continental crust: Its composition and evolution [M]. Oxford: Blackwell, 1985.
- [7] Pearce J A. Role of the sub-continental lithosphere in magma genesis at active continental margins [A]. In: Hawkesworth C J, Norry M J, eds. Continental basalts and metal xenoliths [C]. Nantwich: Shiva, 1983. 230—249.
- [8] Pearce T H. The  $TiO_2$ - $K_2O$ - $P_2O_5$  diagram: A method of discriminating between oceanic and nonoceanic basalts [J]. Earth Planet Sci Lett, 1975, 24: 419—426.
- [9] Cabanis B, Lecolle M. Le diagramme La/10-Y/15-Nb/8: Un outil pour la discrimination des series volcaniques et la mise en evidence des processus de melange et/ou de contamination crustale [J]. C R Acad Sci Ser II, 1989, 309: 2023—2029.

## Early Paleozoic Volcanism in Nuomuhongguole Area, East Kunlun Orogenic Belt

ZHU Yun-hai<sup>1</sup>, WANG Guo-can<sup>1</sup>, JIA Chun-xing<sup>2</sup>, LIN Qi-xiang<sup>1</sup>, WANG Qing-hai<sup>2</sup>

(1. Faculty of Earth Sciences, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China; 2. Institute of Qinghai Geological Survey, Xining 810012, China)

**Abstract:** Early Paleozoic volcanic rocks developed in Nuomuhong area can be divided into two types. One is the basic volcanic assemble, mainly consisting of tholeiite basalts with low  $SiO_2$  and alkali. Its characteristics of REE, trace elements and tectonic setting reveal that it formed in middle ocean ridge tectonic setting. The other is called middle-basic volcanic assemble with complex rock types and well developed lava and pyroclastics. The volcanic rocks belong to subalkali and alkali series, and the subalkali rocks belong to calalkali series. The characteristics of REE, trace elements and tectonic setting indicate that they formed in volcanic arc tectonic setting.

**Key words:** East Kunlun orogenic belt; Early Paleozoic; volcanic rock; Nuomuhongguole area.