

早元古代溥沱群变玄武岩 岩石地球化学及构造环境^①

颜耀阳 王汝铮

(中国地质科学院天津地质矿产研究所)

提 要 早元古代溥沱群存在先后两期火山岩,早期青石村组变玄武岩呈灰黑色,致密块状构造,主要岩类为玄武岩,部分为玄武安山岩、玄武粗安岩,具有与火山弧玄武岩相似的成分特点;晚期河边村组变玄武岩呈灰绿色。片理发育,主要岩类为碱玄岩和碧玄岩。具有典型板内玄武岩的成分特点。结合区域地质背景,推断溥沱群变玄武岩喷发于大陆板块内部环境。

关键词 早元古代溥沱群 变质玄武岩 构造环境 岩石地球化学

五台山区溥沱群厚逾万米。包括了组分不同的各类岩层,其顶底为十分明显的区域性不整合界面所限定,是中国早前寒武纪的一个经典岩石地层单位(地矿部地质辞典办公室,1979)。

溥沱群的研究历史已逾百年。六十年代华北地质科学研究所五台太行组^②和山西省地质局区调队^③首次比较清楚地说明了溥沱群岩石建造特征及其在地史演化中的时空位置,初步确定其时代为早元古代。此后特别是近十多年来,在地层学、同位素年代学、古生物学和综合地质等研究方面都有了长足的进展(白瑾等,1986;伍家善等,1986;叶伯丹等,1987;徐朝雷,1987;程裕淇、沈永和等,1990;徐朝雷、范嗣昆等,1991;王汝铮、李惠民,1992;朱士兴等,1993;白瑾、王汝铮等,1993)。

我们目前这一轮研究的重要特色之一,是采用多种同位素测年技术的印证、配套研究。以国际先进的单颗粒锆石 U-Pb 同位素分析方法给出了溥沱群刘定寺(HL)和马头口(HM)两套变玄武岩的成岩年龄依次为 $2450 \pm 10\text{Ma}(2\sigma)$ 和 $2400 \pm 30\text{Ma}(2\sigma)$ (图 1),由此进一步阐明了溥沱群的时代属性(王汝铮、颜耀阳等,1995a、b;Wang and Yan et al., 1995)。本文在强调地质背景研究的基础上,以新测取的一批高精度的变玄武岩岩石地球化学分析资料为主要依据,探讨早元古代溥沱群变玄武岩所产出的构造环境。

① 国家自然科学基金资助项目(项目号 49273179)

② 华北地质科学研究所五台太行组,溥沱群研究阶段报告,1964

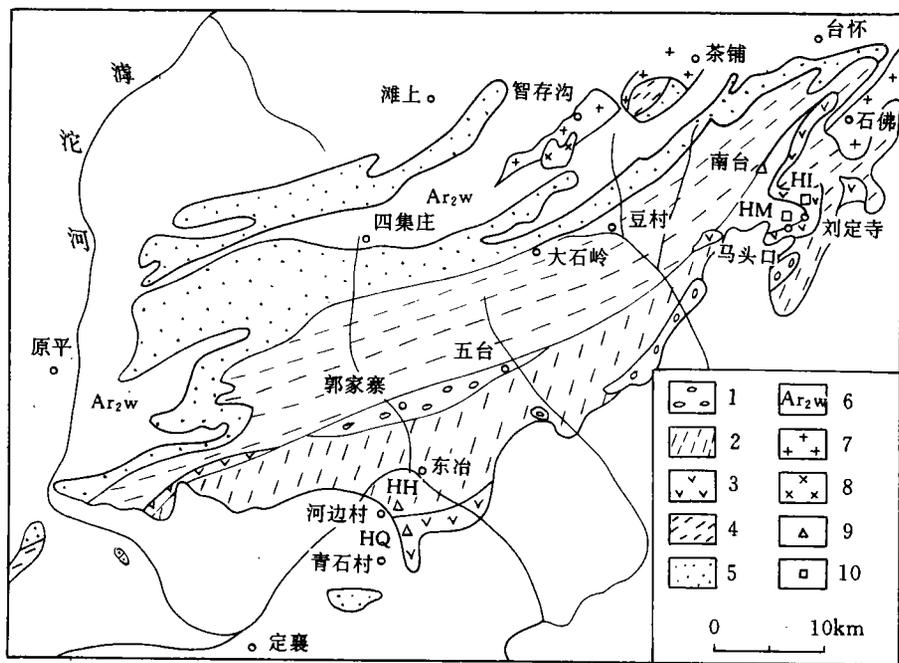
③ 山西地质局区调队,1:200000 J-49-X11(平型关幅)地质图说明书,1967

1 区域地质概况

溇沱群主要分布在五台山南坡,台怀—四集庄一线以南,石佛—定襄一线以北。它不整合在太古宙五台群之上(图1)。由下而上,溇沱群依次分为豆村亚群、东冶亚群和郭家寨亚群,主要由变质砾岩、石英岩、千枚岩、板岩、白云岩、大理岩组成。豆村亚群青石村组和东冶亚群河边村组中分布有两套变质玄武岩,其中尤以青石村组最为发育,在纹山一带厚达420m。溇沱群岩石只经历了次绿片岩相变质,原岩的结构构造保存完好。由于大多数痕量元素在次绿片岩相变质条件下活动性较小,为我们利用地球化学标志探讨其构造背景提供了前提。

2 岩石地球化学特征

2.1 青石村组变玄武岩

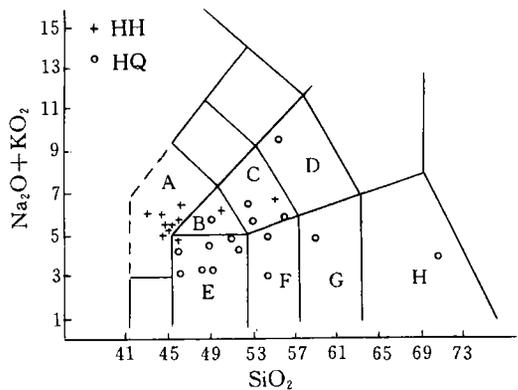


1. 郭家寨亚群 2. 东冶亚群 3—5 豆村亚群 3. 青石村组 4. 大石岭组 5. 南台组和四集庄组 6. 五台群 7. 花岗岩 8. 基性岩 9. 岩石地球化学采样点 10. 单颗粒锆石 U-Pb 年龄采样点

图1 溇沱群地层分布和采样位置略图

Fig.1 Sketch map showing the distribution of Hutuo Group and the location of samples

岩石呈灰黑色,致密块状构造。主要由斜长石、绿泥石、阳起石、绿帘石组成,含少量石英和碳酸盐矿物。杏仁状和管状构造极为发育,其充填物多为绿泥石和石英。化学成分中, SiO_2 : 48.95%~59.26%,平均 53.5%, Al_2O_3 11.7%~14.16%,平均 12.8%, TiO_2 1.21%~1.80%,平均 1.44%, $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}=3.54\% \sim 9.77\%$,平均 5.96%, MgO : 1.26%~7.75%, $\text{Fe}_2\text{O}_3+\text{FeO}$: 8.6%~15.26%(表 1)。总体显示富硅、贫铝、低钛等特点。在火成岩($\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$)- SiO_2 分类图中,主要为玄武岩,部分为玄武安山岩、玄武粗安岩(图 2),说明其为一套以基性岩为主的中基性火山岩系。在 AFM 图中,主要显示为拉斑玄武岩系列(图 3)。

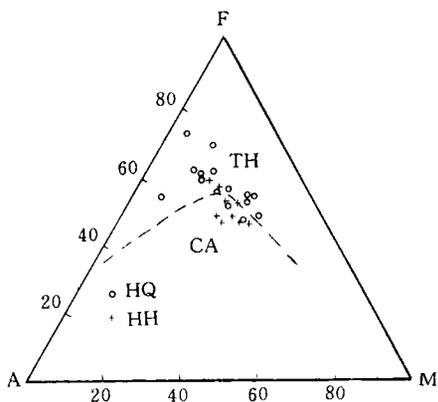


- A. 碧玄岩+碱玄岩 B. 粗面玄武岩 C. 玄武粗安岩
- D. 粗安岩 E. 玄武岩 F. 玄武安山岩 G. 安山岩
- H. 英安岩

图 2 溇沱群变玄武岩的 ($\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$)- SiO_2 的图

Fig. 2 ($\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$)- SiO_2 diagram of metabasalts in Hutuo Group

稀土总量低至中等, $\Sigma\text{REE}=70.22 \times 10^{-6} \sim 141.58 \times 10^{-6}$,平均为 104.24×10^{-6} , $\Sigma\text{HREE}/\Sigma\text{LREE}=3.26 \sim 7.28$,轻、重稀土分异不明显, $\text{Eu}/\text{Eu}^*=0.666 \sim 1.021$,平均为 0.85, Eu 负异常或异常不明显(图 4)。



CA: 钙碱系列 TH: 拉斑系列

图 3 溇沱群变玄武岩的 A-F-M 图

Fig. 3 A-F-M diagram of metabasalts in Hutuo Group

2.2 河边村组变玄武岩

岩石呈灰绿色,多发生片理化,受变形变

质而成绿泥片岩,具绿泥石充填的杏仁构造。化学成分中, SiO_2 43.94%~49.51%,平均 47.0%, Al_2O_3 14.22%~16.17%,平均 15.20%, TiO_2 1.89%~2.72%,平均 2.28%, MgO 4.84%~8.54%, $\text{Fe}_2\text{O}_3+\text{FeO}$ 8.0%~19.18%, $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ 5.47%~7.06%(表 1)。具有贫硅、富铝和高钛等成分特点。在($\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$)- SiO_2 图中,样品多落入碱玄岩和碧玄岩区内,少量落入玄武岩、粗面玄武岩区内(图 2),说明原岩为一套偏超基性的基性火山岩。在 AFM 图中,主要显示钙碱性岩浆系列的特点(图 3)。 $\Sigma\text{REE}=97.84 \times 10^{-6} \sim 167.57 \times 10^{-6}$,平均为 140×10^{-6} ,比青石村组稀土含量高, $\Sigma\text{HREE}/\Sigma\text{LREE}=4.97 \sim 7.18$,轻、重稀土分异较青石村组明显, $\text{Eu}/\text{Eu}^*=0.84 \sim 1.145$,平均 1.06,铕正异常或异常不明显(图 4)。

表 1 溱沱群变质玄武岩的化学成分

Table 1 Chemical compositions of metabasalts in Hutuo Group

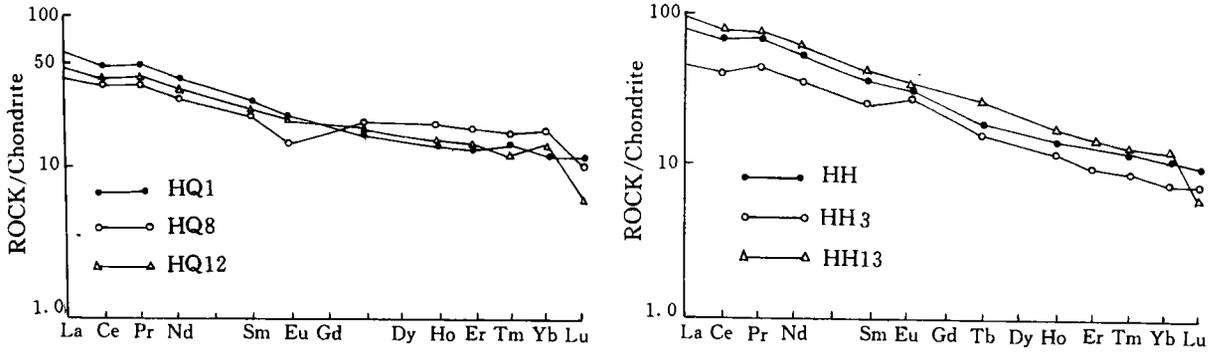
样品号	HQ1	HQ8	HQ11	HQ12	HQ13	HQ14	HQ15
SiO ₂	49.62	55.79	53.01	52.25	59.26	48.95	55.50
Al ₂ O ₃	13.62	12.54	12.42	12.53	11.7	14.16	13.24
CaO	5.33	3.89	5.12	4.53	0.49	4.26	0.99
MgO	7.75	3.13	5.55	4.31	1.26	7.18	2.14
Fe ₂ O ₃	6.42	6.74	2.13	8.81	16.27	7.23	9.50
FeO	7.88	8.89	12.16	7.49	2.35	7.27	5.76
P ₂ O ₅	0.31	0.18	0.14	0.36	0.26	0.42	0.34
K ₂ O	0.29	0.35	1.91	0.40	4.97	0.54	7.69
Na ₂ O	3.25	5.48	3.65	5.90	0.05	5.16	2.08
TiO ₂	1.21	1.61	1.28	1.44	1.32	1.80	1.44
MnO	0.24	0.21	0.20	0.16	0.04	0.21	0.05
H ₂ O ⁺	3.72	1.48	2.48	1.64	1.42	2.98	1.54
CO ₂	0.18	0.07	0.27	0.72	0.29	0.13	0.50
La	17.90	12.44	19.65	13.96	31.01	17.88	14.74
Ce	38.06	28.34	41.84	28.88	50.11	44.30	27.68
Pr	5.47	4.02	5.47	4.44	7.38	6.26	4.06
Nd	22.36	16.55	20.85	18.96	28.66	25.17	16.54
Sm	4.83	4.32	4.87	4.38	5.79	5.63	3.61
Eu	1.49	1.00	1.20	1.43	1.54	1.30	1.10
Gd	4.71	4.97	4.95	4.89	4.62	5.43	2.88
Tb	0.73	0.87	0.91	0.81	0.70	0.78	0.55
Dy	4.45	5.53	5.30	4.73	4.47	5.75	3.14
Ho	0.95	1.30	1.12	0.99	0.91	1.19	0.77
Er	2.66	3.42	3.26	2.78	2.69	3.51	2.14
Tm	0.24	0.50	0.47	0.39	0.40	0.48	0.38
Yb	2.34	3.41	2.98	2.50	2.56	3.15	2.23
Lu	0.42	0.41	0.50	0.22	0.74	0.50	0.40
Y	22.79	27.66	26.81	24.01	23.20	28.05	15.42
Sc	34.69	36.75	36.49	30.56	26.14	36.15	28.78
Nb	3.8	8.5	4.5	5.3	4.9	6.8	6.0
Ba	98	239	929	267	1100	139	253
Hf	3.1	5.9	3.2	2.1	3.3	4.4	2.9
Ta	<0.5	0.6	0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
Th	1.5	8.7	7.1	1.5	2.6	2.1	2.1
V	241	325	315	316	280	333	308
Cr	59	2.4	19	39	34	43	45
Co	59	46	48	43	12	57	20
Ni	99	4.0	36	73	24	73	40
Rb	3.3	2.2	24	3.8	106	5.8	48
Sr	209	56	66	51	54	83	20
Zr	76	134	113	96	88	120	99

注:①HQ 清石村组变玄武岩;HH:河边村组变玄武岩

②中国地质实验测试中心测定

续表 1

样品号	HH	HH3	HH5	HH7	HH9	HH11	HH13	HH15
SiO ₂	45.43	55.42	43.94	45.04	45.63	44.94	49.51	46.13
Al ₂ O ₃	14.51	14.55	15.22	16.17	16.00	14.22	15.77	14.78
CaO	5.24	2.42	5.91	1.02	2.24	5.70	2.27	2.36
MgO	6.81	4.84	6.25	8.45	8.15	5.72	6.77	5.36
Fe ₂ O ₃	5.42	2.90	3.98	7.27	6.11	7.49	4.33	12.59
FeO	9.00	5.16	8.32	9.18	8.06	8.35	7.67	6.59
P ₂ O ₅	0.42	0.33	0.35	0.36	0.55	0.43	0.53	0.42
K ₂ O	1.56	0.96	1.53	1.03	1.44	2.03	1.50	1.66
Na ₂ O	3.91	6.10	4.66	4.28	4.47	3.66	4.74	4.98
TiO ₂	2.32	1.89	2.07	2.02	2.71	2.08	2.72	2.41
MnO	0.21	0.06	0.08	0.08	0.13	0.14	0.06	0.12
H ₂ O	3.52	2.58	3.90	4.88	4.56	3.58	4.20	3.10
CO ₂	1.17	3.25	4.15	0.45	0.16	2.31	0.18	0.45
La	25.07	14.77	18.54	21.71	21.28	25.31	28.61	30.11
Ce	54.60	33.79	40.15	44.86	51.28	52.90	61.73	63.13
Pr	7.95	5.19	5.67	6.36	7.75	7.40	8.69	8.51
Nd	31.78	22.17	24.70	26.09	33.82	29.61	36.54	33.81
Sm	6.99	5.01	5.52	5.84	8.14	6.55	7.81	7.41
Eu	2.26	2.13	2.07	1.62	2.80	2.03	2.45	2.32
Gd	6.12	4.54	5.56	6.06	7.73	5.62	6.82	6.18
Tb	0.90	0.79	0.73	0.99	1.18	0.84	1.25	1.06
Dy	5.59	4.16	4.78	5.40	7.04	5.15	6.06	5.67
Ho	1.10	0.92	1.02	1.14	1.39	0.96	1.25	1.11
Er	2.89	2.13	2.55	2.95	3.71	2.71	3.20	2.97
Tm	0.42	0.31	0.32	0.38	0.56	0.40	0.42	0.42
Yb	2.32	1.63	2.20	2.45	3.08	2.16	2.51	2.43
Lu	0.40	0.30	0.25	0.40	0.47	0.40	0.23	0.40
Y	25.77	18.93	23.12	25.81	33.29	23.51	27.32	25.52
Sc	21.30	19.58	23.16	24.52	27.20	19.75	24.62	22.32
Nb	15	8.4	9.6	10	15	13	15	16
Ba	570	168	270	418	258	892	371	725
Hf	4.1	3.7	4.6	5.9	6.0	5.1	6.2	4.6
Ta	1.2	0.6	0.8	0.6	1.0	0.8	1.0	0.9
Th	1.9	1.5	2.1	1.5	2.6	2.3	2.8	2.0
V	354	182	306	277	362	280	364	362
Cr	45	72	82	79	41	35	44	51
Co	57	22	49	61	67	38	49	36
Ni	90	48	109	132	93	98	76	74
Rb	13	7.4	14	6.0	7.8	19	11	7.5
Sr	298	42	129	44	84	348	58	141
Zr	161	107	124	136	190	149	192	146



(图中样品号对应表1)

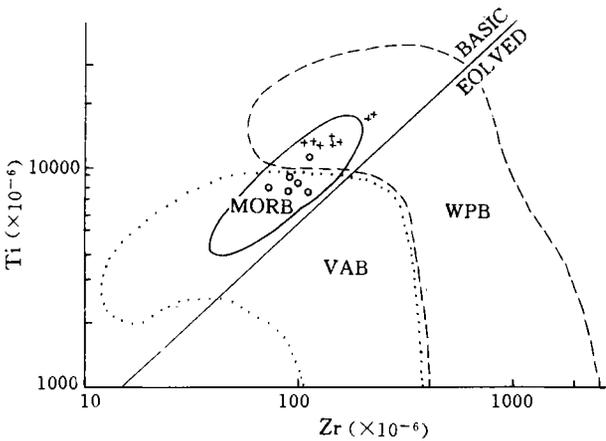
图4 溱沱群变玄武岩的稀土曲线

Fig. 4 REE distribution patterns of metabasalts in Hutuo Group

3 构造环境判别

许多学者认为,玄武岩的成分与构造环境之间存在某种必然联系,并提出了一系列判别程序和指标(Pearce, 1984; Condie, 1989; 颜耀阳, 1994; 德达斯, 1996)。

根据 Pearce (1984)的判别程序,先用 Ti-Zr 图对样品进行筛选(图 5、表 1)。从图中可以看出,样品均适用于各种地球化学判别图解。其中青石村组变玄武岩主要落在 MORB(洋中脊玄武岩)和 VAB(火山弧玄武岩)的重叠区,而河边村组变玄武岩落在 WPB(板内玄武岩)区或 WPB 和 MORB 的重叠区。由图 4 看出,这两套玄武岩均不具备洋中脊玄武岩所特有的轻稀土亏损的稀土型式。因此,可以初步推断,青石村组变玄武岩可能为岛弧玄武岩,河边村组变玄武岩为板内玄武岩,从正常洋脊玄武岩标准化地球化学型式看,青石村组变玄武岩同智利的钙碱性大陆火山弧玄武岩和拉斑质板内玄武岩都有某种相似,即除 Sr 外, K、Rb、Ba、Th、Ta、Nb、Ce、P、Zr、Hf、Sm 都富集,但富集程度不一,曲线呈高低起伏;从 Ti 到 Cr 基本都亏损(图 6)。这说明青石村组变玄武岩成分具某种过渡性,兼具板内玄武岩和火山弧玄武岩的某些特点。河边村组变玄武岩的地球化学型式同拉斑质板内玄武岩的极为接近,呈较典型的



MORB: 洋中脊玄武岩; VAB: 火山弧玄武岩; WPB: 板内玄武岩(下同)

图5 溱沱群变玄武岩的 Ti-Zr 图

Fig. 5 Ti-Zr diagram of metabasalts in Hutuo Group

岩同智利的钙碱性大陆火山弧玄武岩和拉斑质板内玄武岩都有某种相似,即除 Sr 外, K、Rb、Ba、Th、Ta、Nb、Ce、P、Zr、Hf、Sm 都富集,但富集程度不一,曲线呈高低起伏;从 Ti 到 Cr 基本都亏损(图 6)。这说明青石村组变玄武岩成分具某种过渡性,兼具板内玄武岩和火山弧玄武岩的某些特点。河边村组变玄武岩的地球化学型式同拉斑质板内玄武岩的极为接近,呈较典型的

“大隆起”型式,除 Y、Yb、Sc 和 Cr 亏损外,其余元素基本都富集,且富集程序由 Sr 到 Ba 逐渐增强及由 Th 到 Ti 逐渐减弱(图 6)。

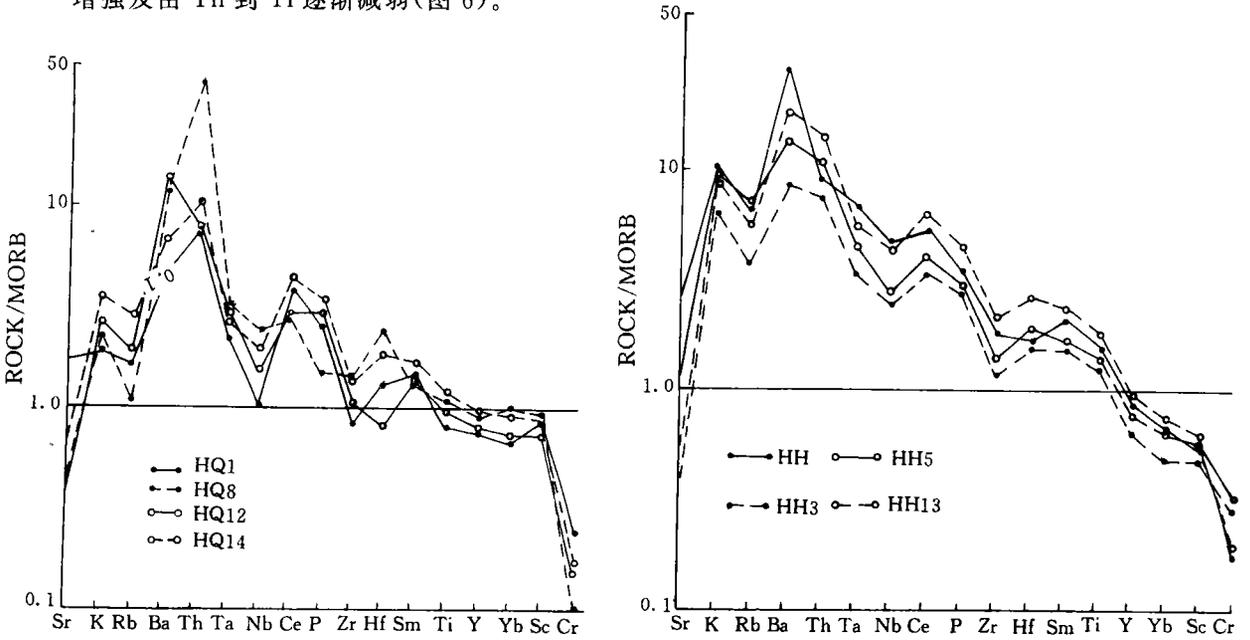


图 6 溇沱群变玄武岩的洋脊标准化地球化学型式

Fig. 6 MORB-normalized geochemical patterns of metabasalts in Hutuo Group

在区分板内与非板内玄武岩的 Ti/Y-Nb/Y 图中,青石村组变玄武岩基本都落在 VAB 区,河边村组变玄武岩都落在 WPB 区(图 7)。由此基本可以肯定,河边村组变玄武岩具有与板内玄武岩相似的成分,可能喷发于大陆板内。

在主要用于判别岛弧与非岛弧的 Hf-Th-Ta 图中,青石村组变玄武岩落在 VAB 区(图 8)。这说明,青石村组变玄武岩具有与现代火山弧相类似的成分。

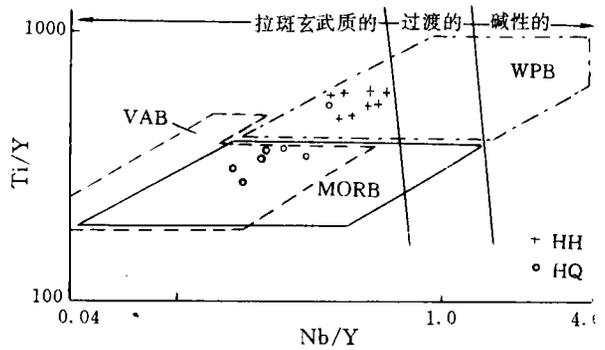


图 7 溇沱群变玄武岩的 Ti/Y-Nb/Y 图解

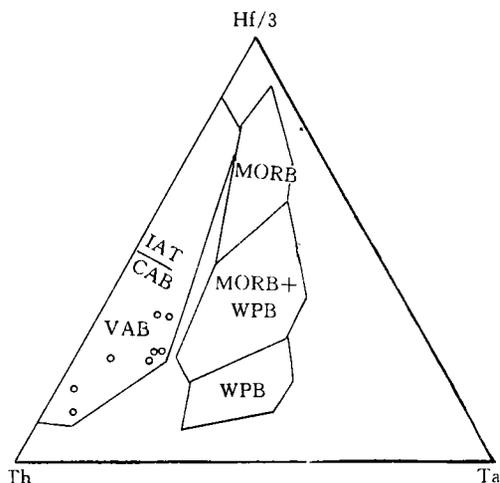
Fig. 7 Ti/Y-Nb/Y diagram of metabasalts in Hutuo Group

4 结论与讨论

溱沱群两套变质玄武岩的岩石地球化学性质存在差异。早期青石村组变玄武岩为中基性火山岩,属拉斑玄武岩系列,具有类似现代火山弧成分;晚期河边村组变玄武岩为碱性玄武岩,属钙碱性岩浆系列,具有类似现代典型大陆板内玄武岩成分。这说明,形成两套火山岩的地球动力学过程可能存在某些差异。但由于玄武岩的成分变化是多种因素的综合反映,因此必须结合地质背景进行合理解释。

溱沱群沉积在以五台群为代表的太古宙古陆壳之上;溱沱群特征的倒扇形复向斜构造是在太古宙克拉通基底上发展起来的(白瑾等,1986)。这些地质证据不支持溱沱期火山岩位于火山弧环境。前述青石村组变玄武岩的火山弧成分特点,可能与如下一些原因有关:(1)存在着与消减带类似的源岩条件;(2)岩浆上升过程中遭受大陆地壳的混染;(3)先存的消减带地球化学成分的岩石熔化的结果;(4)区域地球化学背景值的影响。此外,德达斯(1996)对玄武岩判别图解进行模拟研究后指出,在有些图解中,板内玄武岩浆有时易于被错误地归入火山弧玄武岩类。因此,青石村组变质玄武岩仍可能是大陆板内火山喷发的产物。

综上所述,青石村组变玄武岩可能形成于溱沱早期大陆岩石圈的拉薄阶段,河边村组变玄武岩形成于溱沱晚期岩石圈的相对稳定阶段。



IAT: 岛弧拉斑玄武岩
CAB: 岛弧钙碱性玄武岩

图 8 青石村组变玄武岩的 Hf-Ta-Th 图解
Fig. 8 Hf-Ta-Th diagram of metabasalts in Qingshicun Formation

参考文献

- 1 地质矿产部地质辞典办公室(地质辞典(三)), 古生物地史分册. 地质出版社, 1979, 201~202
- 2 白瑾主编. 五台山早前寒武纪地质. 天津科技出版社, 1986
- 3 伍家善, 刘敦一, 金龙国. 五台山区溱沱群变质基性熔岩中铅石 U-Pb 年龄. 地质论评, 1986, 32(2): 178~183
- 4 叶伯丹, 等. 中国同位素地质年表, 地矿部地质专报, 第 8 号, 1987
- 5 徐朝雷. 对溱沱群上、下时限讨论. 中国区域地质, 1987, (1): 57~60
- 6 程裕淇, 沈永和, 等. 中国地质图说明书(1: 5000000). 地质出版社, 1990
- 7 徐朝雷, 范嗣昆, 等. 关于五台群上、下限年龄的讨论. 地球化学, 1991, (4): 321~330
- 8 王汝铮, 李惠民. 溱沱群下部地层地质年代商榷. 中国地质科学院天津地矿所刊, 1992, 26--27: 305~314
- 9 白瑾, 王汝铮, 等. 五台山早前寒武纪重大地质事件及其年代. 地质出版社, 1993

- 10 王汝铮,颜耀阳,李惠民,林源贤. 山西省五台山区早前寒武纪年代构造格架. 地球学报,1995(出版中)
- 11 王汝铮,颜耀阳,李惠民,林源贤. 溁沱群成岩年代和同位素体系的重设. 国家自然科学基金委员会,地球科学基金项目研究进展(二),1995b(出版中)
- 12 颜耀阳. 玄武岩的构造环境判别及其多解性分析. 国外前寒武纪地质,1994,(4):71~75
- 13 朱士兴,等. 中国叠层石. 天津大学出版社,1993
- 14 F.O. 德达斯. 痕量元素判别图解的岩石成因评价(译文). 国外地质科技,1996,(2):56~64
- 15 Pearce J A. 玄武岩判别图“使用指南”(译文). 国外地质,1984,(1):1~12
- 16 Condie K C. Geochemical change in basalts and andesites a cross the Archaean-Proterozoic boundary,identification and significance. Lithos, 1989, 23:1~18
- 17 Wang Ruzheng, Yan Yaogang, Li Huimin and Lin Yuanxian. Geochronology study on the Early Precambrian metamorphic rocks, in Wutaishan area, Shanxi Province. Earth Sci. , 1995, in press

THE PETRO-GEOCHEMISTRY AND TECTONIC SETTING OF METABASALTS IN THE EARLY PROTEROZOIC HUTUO GROUP

Yan Yaoyang, Wang Ruzheng

(Tianjin Institute of Geology and Mineral Resources, CAGS, Tianjin, 300170)

Abstract

In the early Proterozoic Hutuo Group occur two volcano-deposited rocks. The earlier is metabasalts of Qingshicun Formation in greyish dark colour. It consists of basaltic andesite and small basaltic trachyte andesite with massive structure and the characteristic composition of basalt at volcanic archs. The later is the metabasalt of Hebiancun Formation in greyish green colour consisting of alkline basalt and basanite with typical composition of intraplate basalt. And it is characterized by well-developed schistosity. Therefore, it is inferred that the basalt in Hutuo Group were erupted in continent of intraplate background.