

黄陵地区基性岩墙群的地球化学特征及其地质意义

曾雯¹, 钟增球¹, 周汉文¹, 江麟生², 周忠友², 陈铁龙²

1. 中国地质大学地球科学学院, 湖北武汉 430074

2. 湖北省区域地质调查研究院, 湖北宜昌 443000

摘要: 黄陵地区的基性岩墙群主要由辉绿岩脉和辉绿玢岩脉组成, 走向主要为 NEE 向, 少量为 NNW 向。元素地球化学显示其为形成于板内拉张环境下的亚碱性玄武岩特征, 其很低的 $Mg^{\#}$ 指示为岩浆高度演化的产物, 同时 Nb、Ta 的亏损和 Pb 的富集表明其受到地壳物质的混染, 这说明可能是在拉张环境下由先前被俯冲带流体交代的地幔源重熔的结果。根据前人的年代学研究结果, 它形成于 770 Ma 左右, 可能跟 Rodinia 超级古陆裂解构造背景相关。

关键词: 基性岩墙群; 黄陵花岗岩; 地球化学; Rodinia。

中图分类号: P595; P588

文章编号: 1000-2383(2004)01-0031-08

收稿日期: 2003-09-09

Geochemistry of Mafic Dykes in Huangling Area and Its Tectonic Implications

ZENG Wen¹, ZHONG Zeng-qiu¹, ZHOU Han-wen¹, JIANG Lin-sheng², ZHOU Zhong-you²,

1. Faculty of Earth Sciences, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China
443000, China

Abstract: According to the geological characteristics, the mafic dykes in Huangling area mainly include diabase and diabase-prophyrite, with nearly NEE trend and NNW trend. Geochemical characteristics of the dykes indicate that they are sub-alkaline basalt formed in WPB. The low $Mg^{\#}$ ($Mg^{\#} = 100 \times MgO / (MgO + 0.9 \times Fe_2O_3)$) shows the magma for the dykes was highly evolutionary. The depletion in Nb and Ta, and the enrichment in Pb indicate that the mafic dykes are contaminated by crustal material. All these suggest that it may be the product of remelted materials from mantle source, which had been metasomatized by the fluid in subduction zone, under the extensional circumstance. Based on the previous geochronological researches, it is concluded that the mafic dyke swarms intruded at about 770 Ma and may be related to the breakup of the Rodinia supercontinent.

Key words: mafic dyke swarm; Huangling granite; geochemistry; Rodinia.

0 引言

基性岩墙主要是由源自地幔的玄武质岩浆沿张性裂隙贯入而形成的(邱家骧, 1985; 路凤香等, 2002), 基性岩墙群形状的变化严格地受裂隙系统形态控制(邱家骧, 1985), 通常被作为伸展构造的标志(李江海等, 1997;), 并能为上地幔的物质组成提供制约(葛小月等, 2003), 因此具有明确的构造及时标意义。黄陵地区露出了扬子地块最具代表性的变质岩和

岩浆岩, 为研究扬子地块构造属性及演化提供了条件。该地区的崆岭变质岩系和黄陵花岗岩体内广泛发育基性岩墙及基性岩墙群, 记录了重要的伸展构造事件和基性岩浆事件。对于该地区的基性岩墙群, 李志昌等(2002)的年代学研究结果显示辉绿岩类岩墙侵入的年龄在(770±3)Ma, 属于晋宁期的构造事件, 与 Rodinia 古陆裂解的时代基本相一致(Li *et al.*, 1999; 凌文黎和程建萍, 2000; 王剑等, 2001), 但还没有人对该地区的基性岩墙群做过系统的地质和地球化学方

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(No. 40032010B); 国家地质学理科基地班基金项目。

作者简介: 曾雯(1981-), 女, 2003 级硕士研究生, 原地质学理科基地班 010991 班学生, 研究方向为岩石学; E-mail: rodinia@tom.com

面的研究. 本文在系统的野外调查基础上, 开展了详细的岩相学研究和元素地球化学研究, 并进一步探讨了黄陵地区基性岩墙群的发育在 Rodinia 超级古陆演化中的意义.

1 地质概况

黄陵地区位于扬子地台北缘, 为基底加盖层的双层结构. 基底由晚太古代—早元古代的崆岭中深变质岩系和以黄陵花岗岩基为主的大量侵入体组成(图 1).

前人将黄陵南部变质地层统称为崆岭群. 湖北省地质矿产局鄂西地质大队于 1987 年完成了黄陵地区水月寺幅和兴山东幅(半幅)1:5 万地质填图, 将区域内原定为元古宙的“崆岭群上、中、下岩组”解体为新太古代的东冲河群、古元古代的水月寺群、上覆中元古代神农架下亚群、新元古代马槽元群及震旦系(湖北省地质矿产局, 1987, 1994). 黄陵花岗岩岩基面积约 970 km², 形成于晋宁晚期扬子地台北侧的洋壳

向南俯冲导致的大陆边缘造山运动过程中. 盖层包括震旦系—三叠系, 总厚约 10.5 km, 围绕基底由老至新环状分布, 四周倾斜, 倾角一般较缓, 常小于 15°, 但西翼可陡至 40°. 核部基底花岗岩中局部有震旦系残留(湖北省地质矿产局, 1990; 马大铨等, 2002). 凌文黎等(1998) 研究结果显示, 崆岭杂岩的斜长角闪岩 Sm—Nb 同位素年龄值为(2 742±83) Ma, TTG 片麻岩的 Sm—Nb 同位素年龄值为(2 728±118) Ma. 李志昌等(2002) 研究结果表明, 黄陵花岗岩基主体太平溪英云闪长岩岩套和黄陵庙花岗闪长岩岩套的侵位年龄分别为(833±29) Ma 和(819±7) Ma.

黄陵地区有大量辉绿岩类岩墙群侵入不同岩性的围岩中, 包括崆岭群、TTG 片麻岩和黄陵花岗岩中. 基性岩墙群的岩性大多为辉绿岩、辉绿玢岩, 还可见酸性和基性的复合岩墙. 基性岩墙群绝大多数的走向分为 100°~180°和 65°~95°两类, 统计结果表明, 侵入到黄陵花岗岩体中的基性岩墙群走向大部分一致, 为 NEE 向, 而侵入到崆岭群或 TTG 片麻岩中的基性岩墙群的走向范围比较广, 主要集中在 NNW 向, 也有一部分 NEE 向的.

2 岩相学

黄陵地区基性岩墙群的岩石类型主要由辉绿岩(中粒和微晶细粒)和辉绿玢岩组成. 有些结构和成分都比较明显, 一部分发生蚀变. 辉绿岩矿物组合为普通辉石(35%~60%)、斜长石(50%~15%)以及少量不透明矿物, 其中有一些矿物因蚀变不易分辨, 但明显呈针状, 有一定的拉长定向(流动构造). 辉绿玢岩主要含斜长石和普通辉石斑晶, 大小 1~3.5 mm, 各占 8%~10%, 基质为典型的辉绿结构, 含普通辉石和斜长石各 40%左右. 普通辉石一部分蚀变为蛇纹石、绿泥石和透闪石等, 一部分被方解石交代. 斜长石有粘土化现象.

3 地球化学特征

3.1 分析方法

本文研究测定的样品均为全岩样品. 岩石经薄片鉴定新鲜、无后期蚀变后, 无污染, 碎至 200 目以下. 主量元素在台湾大学地球科学系 X 荧光光谱分析实验室完成. 微量元素在中国地质大学(武汉)

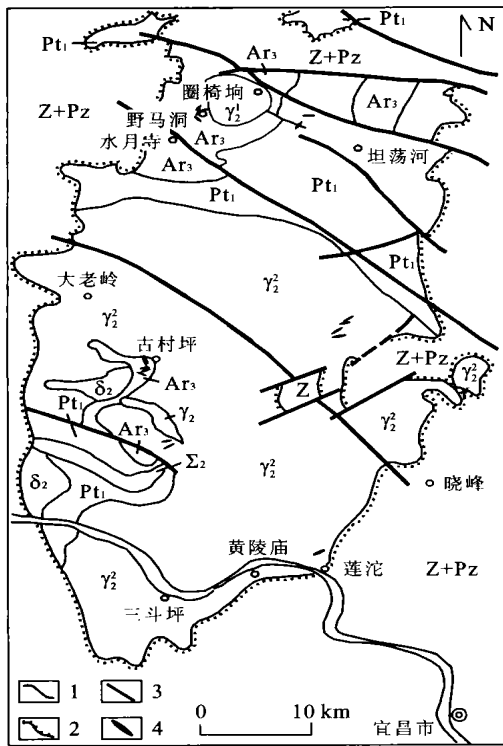


图 1 黄陵地区地质略图(马大铨等, 1997)

Fig. 1 Geological sketch map of Huangling area

Ar₃. 基底片麻岩; Pt₁. 表壳岩; Σ₂. 橄辉岩; γ₂. 辉长岩; δ₂. 闪长岩; γ₂. 圈椅垭花岗岩; γ₂. 黄陵花岗岩; Z+Pz. 震旦系及古生界; 1. 地质界线; 2. 不整合; 3. 断层; 4. 基性岩墙

表 1 黄陵地区基性岩墙群的主量元素组成

Table 1 Major element data for mafic dyke swarms in Huangling area

$w_B/\%$

样品号	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	Total
0156-4	48.80	3.12	12.88	15.93	0.19	5.80	10.26	2.15	0.65	0.23	100.01
0660-2	51.78	0.42	15.98	9.90	0.15	6.75	9.61	1.89	0.91	0.07	97.46
0660-3	50.19	1.26	16.40	12.22	0.17	5.50	10.57	1.89	0.61	0.13	98.94
0660-4	50.02	1.29	15.55	12.65	0.18	5.70	10.40	1.93	0.64	0.14	98.50
0660-5	50.03	1.63	13.08	13.45	0.17	7.67	9.03	1.99	0.84	0.23	98.12
0660-6	49.85	1.84	15.27	13.02	0.16	5.81	8.81	2.54	1.02	0.29	98.61
0660-7	48.41	4.15	12.15	16.37	0.20	4.84	9.34	1.99	0.88	0.44	98.77
0666-6	48.16	2.65	12.91	15.36	0.23	6.12	10.31	2.22	0.57	0.25	98.78
0666-7	48.76	1.19	13.86	14.39	0.21	7.26	10.85	2.28	0.41	0.10	99.31
0666-8	47.75	2.54	12.31	17.97	0.23	5.51	9.46	1.92	0.59	0.22	98.50
0666-9	51.24	1.35	13.11	14.93	0.22	6.17	10.06	2.22	0.56	0.16	100.02
0665-4	50.07	1.41	16.99	9.50	0.15	4.91	8.70	3.65	0.16	0.50	96.04
0665-5	51.09	1.63	16.35	10.82	0.17	4.60	6.51	3.88	1.10	0.55	96.70
0666-1	53.79	1.10	17.75	9.90	0.20	3.70	6.54	4.18	1.24	0.24	98.64
0666-3	57.61	1.12	17.74	6.35	0.10	3.98	3.97	4.57	1.91	0.56	97.91
0668-1	50.28	0.45	19.06	7.02	0.13	7.09	12.01	2.39	0.08	0.07	98.58

ICP-MS(POEMS III) 实验室测定. 样品经 AGV-1、BCR-2、BHVO-2、G-2、GSR-1 国际标样监控, 精度均优于 5%.

3.2 地球化学特征

3.2.1 主元素特征 基性岩墙群代表性样品的主量元素分析列于表 1.

黄陵地区基性岩墙群的 SiO₂ 含量介于 47.75%~53.79% 之间(样品 0666-3 为 57.61%). 大多数样品以贫 K₂O (<1.25%, 样品 0666-3 为 1.91%), $w(Na_2O) > w(K_2O)$ 为特征. $w(Na_2O + K_2O)$ 值的变化范围为 2.47%~6.48%. 在 $w(Na_2O + K_2O) - w(SiO_2)$ TAS 图解(图 2)中基性岩墙群成分点均位于亚碱性系列岩区, 大部分位于玄武岩区域, 少数比较分散, 逐步地向中性岩石方向演化. 黄陵地区基性岩墙群具有较高的 Al₂O₃ 含量且含量变化较大, 为 12.15%~19.06%. 多数岩石的镁值 ($Mg^{\#} = 100 \times MgO / (MgO + 0.9 \times TF_{Fe_2O_3})$) 低(25~43(样品 0668-1 为 53)), 说明它们为岩浆高度演化后产物.

在以 MgO 含量为横坐标的 Harker 图解(图 3)上, MgO 与 CaO 正相关, 与 SiO₂、Al₂O₃、P₂O₅、K₂O、Na₂O 负相关, 与 TiO₂、Fe₂O₃ 则没有明显的相关关系.

3.2.2 微量元素特征 代表性岩石样品的微量元素分析列于表 2.

由于 Sc 强烈相容于石榴石, 中等相容于辉石, 在橄榄石和斜长石中强烈不相容, Ni、Cr 降低表明

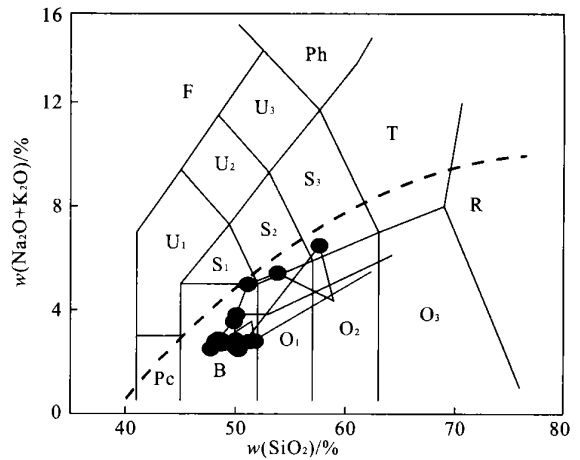


图 2 黄陵地区基性岩墙群的 TAS 岩石分类图解
Fig. 2 TAS diagram for rock classification of mafic dyke swarms in Huangling area

R·流纹岩; T·粗面岩; O₁·玄武安山岩; O₂·安山岩; O₃·英安岩; Pc·苦橄玄武岩; S₁·粗面玄武岩; S₂·玄武质安山岩; S₃·粗面安山岩; B·玄武岩; U₁·碱玄岩或碧玄岩; U₂·响岩质玄武岩; U₃·碱玄质响岩; Ph·响岩; F·副长石岩

有橄榄石和单斜辉石的结晶分离作用发生(张成立等, 1999). 因此, 基性岩墙群岩石样品中的 Sc、V 与 MgO 大致呈正相关关系, 而 Ni、Cr 与 MgO 的关系不太明显(图 4), 说明岩浆演化过程中单斜辉石是分离结晶作用过程的主要晶出相, 而无明显的橄榄石和 Fe-Ti 氧化物的晶出.

如图 5 黄陵地区基性岩墙群岩石样品轻重稀土从没有分异(样品 0666-7, La_n/Yb_n 值为 0.96) 到

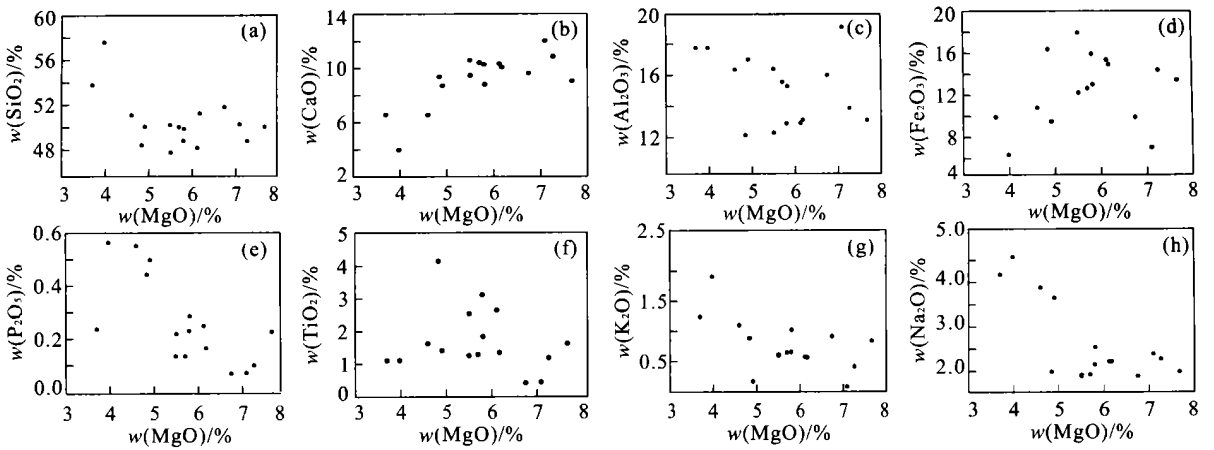


图 3 黄陵地区基性岩墙群的 Harker 图解(李昌年,1992)

Fig.3 Harker-type oxides vs. MgO for mafic dyke swarms in Huangling area

表 2 黄陵地区基性岩墙群的微量元素组成

Table 2 Trace element data for mafic dyke swarms in Huangling area

样品号		0156-4	0660-2	0660-4	0660-6	0660-6	0666-6	0666-7	0665-4	0665-5
Ele.	Iso.	106	108	109	123	124	111	107	119	110
Be	9	1.29	0.74	0.59	0.73	0.73	1.19	0.47	0.88	1.32
Sc	45	33.1	28.3	31.8	25.0	28.2	41.9	51.4	29.2	19.9
V	51	414	129	265	240	264	607	361	289	168
Cr	53	76.7	133	128	233	275	123	136	270	49.3
Co	59	58.2	44.0	42.0	41.6	47.7	49.7	54.5	53.2	26.0
Ni	60	74.6	119	88.8	95.8	129	104	90.2	142	33.5
Zn	66	133	73.4	125	96.3	120	149	93.7	872	128
Ga	71	24.0	14.0	20.5	17.9	20.8	25.4	16.9	23.2	19.2
Y	89	30.2	21.4	28.7	26.3	29.4	43.3	29.1	34.3	26.4
Zr	91	162	86.8	102	109	127	172	56.8	128	194
Nb	93	19.0	5.41	5.79	8.31	9.35	15.2	3.75	9.20	16.7
Sn	118	1.98	1.38	2.83	1.18	1.34	2.38	1.80	10.3	11.9
Cs	133	6.72	0.66	1.67	0.72	0.79	0.40	0.31	0.85	0.99
Ba	135	189	422	275	606	664	122	86.5	694	424
La	139	20.3	30.1	14.1	27.6	32.9	14.7	3.94	35.9	58.5
Ce	140	44.0	54.6	29.4	60.4	67.6	35.1	9.46	69.6	125
Pr	141	5.53	5.61	3.66	6.96	8.23	4.69	1.49	7.88	13.3
Nd	146	26.1	21.5	17.1	29.6	34.3	24.5	7.87	37.8	52.0
Sm	147	5.85	3.40	4.03	5.49	6.24	6.19	2.57	6.94	8.21
Eu	151	2.08	0.79	1.36	1.75	1.88	2.14	0.99	2.20	2.24
Gd	157	5.72	3.33	4.32	5.81	6.46	6.62	3.24	6.99	7.71
Tb	159	0.94	0.51	0.77	0.86	0.95	1.17	0.62	1.02	0.96
Dy	161	5.45	3.24	4.96	5.14	5.43	6.94	4.15	6.40	5.56
Ho	165	1.05	0.70	1.06	1.08	1.18	1.41	0.90	1.27	0.96
Er	166	2.81	2.05	2.94	2.73	2.93	3.57	2.55	3.22	2.43
Tm	169	0.35	0.31	0.44	0.41	0.43	0.49	0.41	0.47	0.33
Yb	172	2.24	2.20	2.89	2.64	2.93	3.35	2.78	3.26	2.16
Lu	175	0.31	0.36	0.45	0.41	0.45	0.55	0.46	0.52	0.33
Hf	178	4.28	2.56	3.16	2.94	3.38	4.43	1.50	3.93	5.06
Ta	181	1.29	0.34	0.44	0.66	0.71	0.97	0.21	0.72	0.93
Pb	208	3.18	69.6	30.5	15.6	22.2	7.27	4.26	60.2	19.0
Th	232	1.76	12.0	2.05	4.54	5.37	0.71	未检出	4.13	8.22
U	238	0.41	0.66	0.38	0.57	0.68	0.27	0.065	0.50	0.88

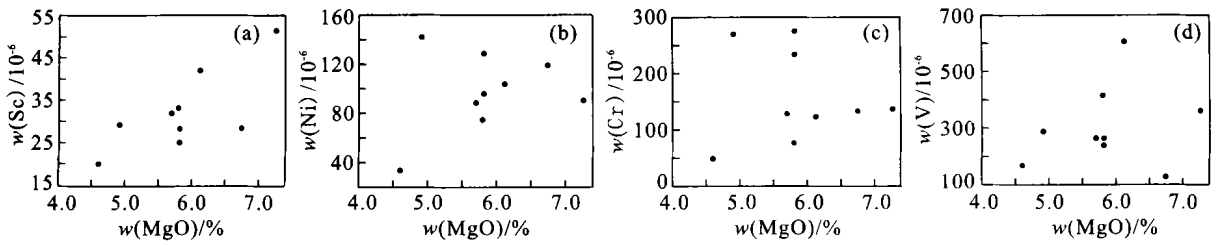


图 4 黄陵地区基性岩墙群微量元素与 MgO 的相关图解

Fig. 4 Selected trace element abundances vs. MgO variation diagram

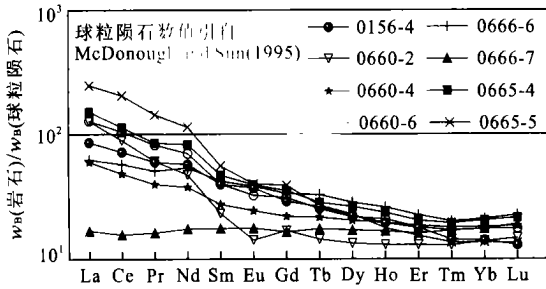


图 5 黄陵地区基性岩墙群的球粒陨石标准化稀土分布模式

Fig. 5 Chondrite-normalized REE patterns for mafic dyke swarms in Huangling area

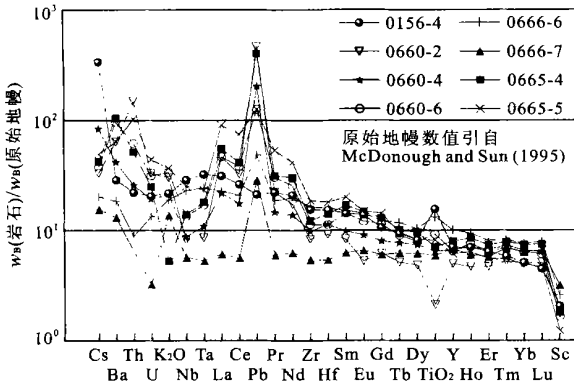


图 6 黄陵地区基性岩墙群的不相容元素蛛网图

Fig. 6 Primitive mantle-normalized incompatible trace element spidergrams for mafic dyke swarms in Huangling area

分异较大(样品 0665-5 L_n/Y_n 值为 18.37), 稀土配分模式从平坦型向右倾型演化, 总体上 HREE 呈轻微右倾型分布. 其中样品 0660-2 的 Eu 呈轻微负异常, 有可能是由于斜长石的分异造成的. 总体上讲, 其源区的残留矿物相应没有石榴石. 结合 Harker 图解, 笔者认为其演化程度和部分熔融程度均比较高.

在原始地幔标准化的微量元素“蛛网图”(图 6)上, 基性岩墙群岩石样品的不相容元素分布大致的

趋势是相似的, 均表现为富集大离子亲石元素 (Ba、Th、U)、LREE、Pb、Nb/Ta 比值 (12.63~18.00) 和 Zr/Hf 比值 (32.38~38.74) 反映岩墙的岩浆分离结晶作用的程度变化不大. $Nb^* = 2Nb_n / (K_n + La_n)$ 大部分小于 1, Nb/Ta 比值 (12.63~18.00) 大部分低于原始地幔的 Nb/Ta 比值 (17.39) (Sun *et al.*, 1989), 这与 Pb 的高度富集一致, 表示基性岩墙群受到地壳物质的混染 (丁振举等, 2003). 样品中 Nb、Ta 大部分亏损, 表明其成因可能与板片俯冲有关 (李昌年, 1992). 0156-4 和 0666-6 样品在蛛网图上整体没有明显的峰和谷, Nb、Ta 有微弱的正异常, 0665-4 的 Nb、Ta 没有明显的异常, 表明形成该基性岩墙群的地幔源区可能有差别 (或者根本就不属于同一时期侵入的岩墙). 0156-4 和 0666-6 样品的 TiO_2 表现为正异常, 可能含有金红石和钛铁矿等 Ti-Fe 氧化物; 0660-2 和 0666-7 样品的 TiO_2 表现为负异常, 可能存在金红石和钛铁矿等 Ti-Fe 氧化物的分异. 基性岩墙群的稀土分布模式和蛛网图均有个别样品不太一致, 表明形成岩墙群的地幔源区略有不同. 值得注意的是, 由于崆岭群形成于太古代 (2 742~2 728 Ma) (凌文黎等, 1998), 其中的基性岩墙群可能还包含有更早期侵入的, 这也可能导致个别样品地球化学异常.

4 讨论

对于华南克拉通的位置, 不同的研究者有不同的看法. Li *et al.* (1999) 认为华南地块拼合于西伯利亚、波罗的及劳伦古陆之间, 提出华南裂谷盆地的形成经历了由热地幔柱作用引起的基性-超基性岩及花岗岩的侵入、地壳拉伸断裂等过程. 颜丹平等 (2002) 研究表明华南地块可能位于 Rodinia 超级大陆印度板块东北缘, 并可能在南东侧与澳大利亚板块相连接. 如果能将古地磁与精确的同位素定年 (如

U—Pb 锆石年龄)研究相结合,可以确定元古代岩墙群的视极移曲线,并探讨伸展构造事件序列及岩墙群形成的构造部位和构造背景。

有的研究结果显示,在新元古代,扬子板块有地幔柱活动的迹象(李献华等,1997;徐学义等,2001;张本仁,2001)。地幔柱及太古代陆下岩石圈均是基性岩墙群的重要岩浆来源,但是来源于地幔柱的岩墙以 Th/Ta 比值及 La/Yb 比值较低为特征,而来源于太古代陆下岩石圈的岩墙则以较高的比值为特征(李江海等,1997)。黄陵地区岩墙样品的 Th/Ta 比值(1.42~27.04)和 La/Yb 比值(0.73~34.95)大部分较高,可以判断其来源可能为太古代陆下岩石圈(这跟其他地球化学特征标示的结果相一致),表明该地区并不处于地幔柱正上方。那么,黄陵花岗岩的形成(833~819 Ma)处于 Rodinia 形成阶段,而其后基性岩墙群的侵入(770 Ma)可能标志着 Rodinia 超大陆的裂解。

黄陵地区基性岩墙群样品总体来说富集不相容元素并且具 Nb 和 Ta 负异常,显示与俯冲作用有关的玄武岩具有已交代地幔楔的特征(马芳等,2000)。这一特征反映了其形成的大地构造背景,由于黄陵花岗岩基位于扬子地台北缘,连同汉南和鲤鱼寨岩基一起构成扬子地台北缘的低钾花岗岩带,形成于晋宁晚期扬子地台北侧的洋壳向南俯冲导致的大陆边缘造山运动过程中(湖北省地质矿产局,1994),基性岩墙群可能就是在拉张环境下由先前被俯冲带流体交代的地幔源重熔形成的,这与粤北(李献华等,1997)和琼南(葛小月等,2003)的基性岩墙群成因有相似之处。

在微量元素构造环境判别图上(图 7),大多数样品落入板内玄武岩(WPB)区,但样品 0666-7 的 Zr 含量和 $w(Zr)/w(Y)$ 比较低,落入洋中脊玄武岩(MORB)下部和岛弧拉斑玄武岩(IAT)重叠区。在 $w(Zr)/w(Y) - w(Y)/w(Nb) - w(Zr)/w(Nb)$ 关系和 $w(Zr)/w(Nb) - w(Y)/w(Nb)$ 关系图解(图 8)上,显示基性岩墙群的地幔源区为无亏损的过渡型地幔。在主量元素构造环境判别图解(图 9)中,黄陵地区岩墙群的成分投点具有明显的演化趋势: MgO 的含量变化不大, FeO_{tot} 减少, Al_2O_3 增加,在形成环境上表现出明显由大陆向活动大陆边缘演化的趋势,这一演化特征可能指示了古大陆的裂解过程。

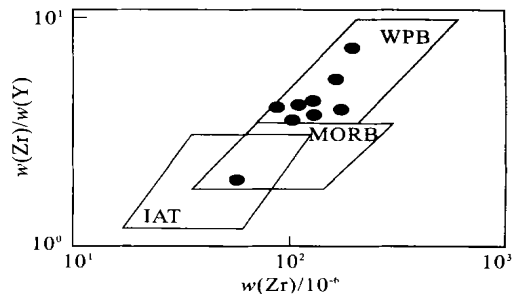


图 7 黄陵地区两类基性岩墙形成的构造环境 $w(Zr)/w(Y) - w(Zr)$ 相关图(Rollinson, 1993)

Fig. 7 Tectonic environments discriminant $w(Zr)/w(Y) - w(Zr)$ diagram for mafic dykes in Huangling area WPB. 板内玄武岩; MORB. 洋中脊玄武岩; IAT. 岛弧拉斑玄武岩

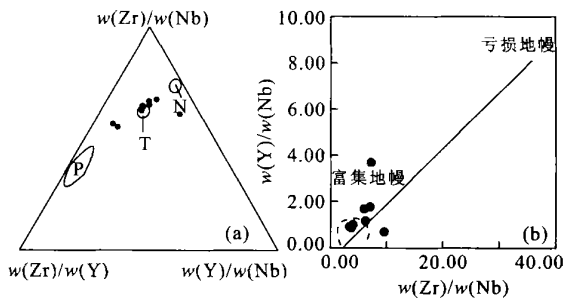


图 8 黄陵地区基性岩墙群的地幔类型判别图(Rollinson, 1993; 邵济安等, 2001)

Fig. 8 Mantle discriminant diagram for mafic dyke swarms in Huangling area

N. 亏损地幔; T. 过渡型地幔; P. 富集地幔

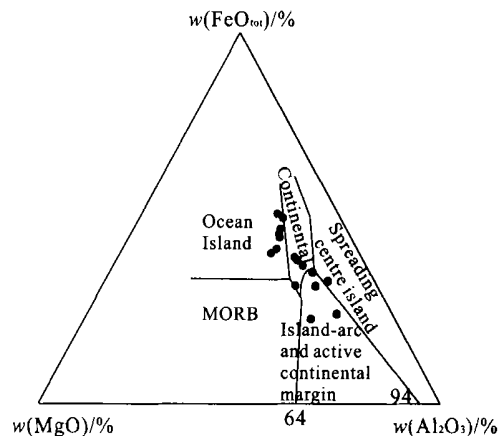


图 9 黄陵地区基性岩墙群形成的构造环境判别图(Rollinson, 1993)

Fig. 9 Tectonic environments discriminant diagram for mafic dyke swarms in Huangling area

5 结论

通过对黄陵地区的基性岩墙群的主量元素、微量元素和稀土元素特征的研究,得出以下结论:(1)该岩墙群岩石具亚碱性玄武岩特征。(2)该地区的基性岩墙群可能是在拉张环境下由先前被俯冲带流体交代的地幔源重熔形成的。岩浆演化过程中单斜辉石是分离结晶作用过程的主要晶出相,而无明显的橄榄石和Fe-Ti氧化物的晶出,其源区的残留矿物相总体上来讲应没有石榴石。(3)该基性岩墙群的侵入(770 Ma)可能标志着Rodinia超大陆的裂解。当时该地区并不处于地幔柱正上方。

结合精确的年代学、古地磁、地球化学和区域构造演化对比相结合的研究将是该地区基性岩墙群今后研究的主要方向。

致谢:主量元素由台湾大学地球科学系X荧光光谱分析实验室李寄博士完成;微量元素分析在中国地质大学(武汉)ICP-MS实验室完成,得到胡圣虹教授的指导,特致谢忱。

References

- Bureau of Geology and Mineral Resources of Hubei Province, 1994. Introduction to geological map—Maopinghe region. Map Press of Hydrological Engineering Geological Team of Hubei Province, China (in Chinese with English abstract).
- Bureau of Geology and Mineral Resources of Hubei Province, 1987. Introduction to geological map—Xingshandong, Shuiyuesi region. Map Press of Hydrological Engineering Geological Team of Hubei Province, China (in Chinese with English abstract).
- Bureau of Geology and Mineral Resources of Hubei Province, 1990. Regional geology of Hubei Province. Geological Publishing House, Beijing (in Chinese with English abstract).
- Ding, Z. J., Yao, S. Z., Zhou, Z. G., et al., 2003. Diversity of trace element compositions of volcanic in different slabs of Bikou Group; Implications for tectonics. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 28(2): 167—172 (in Chinese with English abstract).
- Ge, X. Y., Li, X. H., Zhou, H. W., 2003. Geochronologic, geochemistry and Sr-Nd isotopes of the Late Cretaceous mafic dyke swarms in southern Hainan island. *Geochimica*, 32(1): 12—20 (in Chinese with English abstract).
- Li, C. N., 1992. Trace element petrology of igneous rocks. China University of Geosciences Press, Wuhan (in Chinese).
- Li, J. H., He, W. Y., Qian, X. L., 1997. Genetic mechanism and tectonic setting of Proterozoic mafic dyke swarm; Its implication for paleoplate reconstruction. *Geological Journal of China Universities*, 3(3): 272—281 (in Chinese with English abstract).
- Li, X. H., Hu, R. Z., Rao, B., 1997. Geochronology and geochemistry of Cretaceous mafic dykes from northern Guangdong, SE China. *Geochimica*, 26(2): 14—28 (in Chinese with English abstract).
- Li, Z. C., Wang, G. H., Zhang, Z. C., 2002. Isotopic age spectrum of the Huangling granitic batholith, western Hubei. *Geology and Mineral Resources of South China*, 3: 19—28 (in Chinese with English abstract).
- Li, Z. X., Li, X. H., Detal, K. P., 1999. The breakup of Rodinia; Did it start with a mantle plume beneath South China. *Earth and Planetary Science Letters*, 173: 171—181.
- Ling, W. L., Cheng, J. P., 2000. Significance and reconstruction models of Rodinia supercontinent and Jinningian tectonics in South China. *Geological Science and Technology Information*, 19(3): 7—11 (in Chinese with English abstract).
- Ling, W. L., Gao, S., Zheng, H. F., et al., 1998. An Sm-Nd isotopic dating study of the Archean Kongling complex in the Huangling area of the Yangtze craton. *Chinese Science Bulletin*, 43(14): 1187—1191 (in Chinese with English abstract).
- Lu, F. X., Sang, L. K., Wu, J. H., et al., 2002. Petrology. Geological Publishing House, Beijing, (in Chinese with English abstract).
- Ma, D. Q., Du, S. H., Xiao, Z. F., 2002. The origin of Huangling granite batholith. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 21(2): 151—161 (in Chinese with English abstract).
- Ma, D. Q., Li, Z. C., Xiao, Z. F., 1997. The constitute, geochronology and geologic evolution of the Kongling complex, western Hubei. *Acta Geoscientia Sinica*, 18(3): 233—241 (in Chinese with English abstract).
- Ma, F., Mu, Z. G., Li, J. H., 2000. Geochemistry and petrogenesis of Precambrian mafic dyke swarms. *Geology Geochemistry*, 28(4): 58—64 (in Chinese with English abstract).
- McDonough, W. F., Sun, S. S., 1995. The composition of the Earth. *Chemical Geology*, 120: 223—253.
- Qiu, J. X., 1985. Petrology of magmatic rock. Geological Publishing House, Beijing (in Chinese with English abstract).
- Rollinson, H., 1993. Using geochemical data: Evaluation, presentation, interpretation. Longman Singapore Publishers (Pte) Ltd., Singapore.
- Shao, J. A., Li, X. H., Zhang, L. Q., et al., 2001. Geochemical condition for genetic mechanism of the Mesozoic bimodal

- dyke swarms in Nankou-Guyaju. *Geochimica*, 30(6): 517-524(in Chinese with English abstract).
- Sun, S. S., McDonough, W. F., 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: Implications for mantle composition and processes. In: Saunders, A. D., Norry, M. J., eds., *Magmatism in the ocean basins*. Geological Society Special Publication, Blackwell, 42, 313-345.
- Wang, J., Liu, B. J., Pan, G. T., 2001. Neoproterozoic rifting history of South China significance to Rodinia breakup. *Journal of Mineralogy and Petrology*, 21(3): 135-145(in Chinese with English abstract).
- Xu, X. Y., Xia, Z. C., Xia, L. Q., 2001. Proterozoic intraplate volcanic rocks in South Qinling Mountains and their tectonics implications. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 20(3): 255-262 (in Chinese with English abstract).
- Yan, D. P., Zhou, M. F., Song, H. L., et al., 2002. Where was South China located in the reconstruction of Rodinia? *Earth Science Frontiers*, 9(4): 249-256 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, B. R., 2001. Magmatic activities from plume-source in the Qinling orogenic belt and its dynamic significance. *Earth Science Frontiers*, 8(3): 57-66 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, C. L., Zhou, D. W., Liu, Y. Y., 1999. Geochemistry of basic dykes in Wudangshan block and their tectonic significance. *Geochimica*, 28(2): 126-135(in Chinese with English abstract).
- 附中文参考文献**
- 湖北省地质矿产局, 1994. 地质图说明书——茅坪河幅. 湖北: 湖北省水文工程地质大队测绘地图制印厂.
- 湖北省地质矿产局, 1987. 地质图说明书——兴山东半幅、水月寺幅. 湖北: 湖北省水文工程地质大队测绘地图制印厂.
- 湖北省地质矿产局, 1990. 湖北省区域地质志. 北京: 地质出版社.
- 丁振举, 姚书振, 周宗桂, 等, 2003. 碧口群不同岩片火山岩微量元素组成差异与古构造意义. *地球科学——中国地质大学学报*, 28(2): 167-172.
- 葛小月, 李献华, 周汉文, 2003. 琼南晚白垩世基性岩墙群的年代学、元素地球化学和 Sr-Nd 同位素研究. *地球化学*, 32(1): 12-20.
- 李昌年, 1992. 火成岩微量元素岩石学. 武汉: 中国地质大学出版社.
- 李江海, 何文渊, 钱祥麟, 1997. 元古代基性岩墙群的成因机制、构造背景及其古板块再造意义. *高校地质学报*, 3(3): 272-281.
- 李献华, 胡瑞忠, 饶冰, 1997. 粤北白垩纪基性岩脉的年代学和地球化学. *地球化学*, 26(2): 14-28.
- 李志昌, 王桂华, 张自超, 2002. 鄂西黄陵花岗岩基同位素年龄谱. *华南地质与矿产*, 3: 19-28.
- 凌文黎, 程建萍, 2000. Rodinia 研究意义、重建方案与华南晋宁期构造运动. *地质科技情报*, 19(3): 7-11.
- 凌文黎, 高山, 郑海飞, 等, 1998. 扬子克拉通黄陵地区崆岭杂岩 Sm-Nb 同位素地质年代学研究. *科学通报*, 124(1): 86-89.
- 路凤香, 桑隆康, 邬金华, 等, 2002. 岩石学. 北京: 地质出版社.
- 马大铨, 杜绍华, 肖志发, 2002. 黄陵花岗岩基的成因. *岩石矿物学杂志*, 21(2): 151-161.
- 马大铨, 李志昌, 肖志发, 1997. 鄂西崆岭杂岩的组成、时代及地质演化. *地球学报*, 18(3): 233-241.
- 马芳, 穆治国, 李江海, 2000. 前寒武纪基性岩墙群的地球化学特征与岩石成因讨论. *地质地球化学*, 28(4): 58-64.
- 邱家骧, 1985. 岩浆岩岩石学. 北京: 地质出版社.
- 邵济安, 李献华, 张履桥, 等, 2001. 南口—古崖居中生代双峰式岩墙群形成机制的地球化学制约. *地球化学*, 30(6): 517-524.
- 王剑, 刘宝珺, 潘桂棠, 2001. 华南新元古代裂谷盆地演化——Rodinia 超大陆解体的前奏. *矿物岩石*, 21(3): 135-145.
- 徐学义, 夏祖春, 夏林圻, 2001. 南秦岭元古宙板内火山作用特征及构造意义. *岩石矿物学杂志*, 20(3): 255-262.
- 颜丹平, 周美夫, 宋鸿林, 等, 2002. 华南在 Rodinia 古陆中位置的讨论——扬子地块西缘变质岩杂岩证据及其与 Seychelles 地块的对比. *地学前缘*, 9(4): 249-256.
- 张本仁, 2001. 秦岭地幔柱源岩浆活动及其动力学意义. *地学前缘*, 8(3): 57-66.
- 张成立, 周鼎武, 刘颖宇, 1999. 武当山地块基性岩墙群地球化学研究及其大地构造意义. *地球化学*, 28(2): 126-135.