

湘东南中生代花岗闪长岩锆石 U-Pb 法定年及其成因指示*

王岳军^① 范蔚茗^① 郭 锋^① 李惠民^② 梁新权^①

(^①中国科学院长沙大地构造研究所, 长沙 410013; ^②国土资源部天津地质矿产研究所, 天津 317000)

摘要 湘东南中生代花岗闪长质小岩体与铜多金属成矿带在时空上密切共生, 主要岩性为花岗闪长(斑)岩. 4 个花岗闪长质岩体的单颗粒锆石 U-Pb 同位素定年结果精确限定了带内花岗闪长质岩体的形成年龄在 172~181 Ma 之间, 这一年龄也代表了带内铜多金属成矿作用发生的上限年龄. 部分颗粒锆石属残留锆石, 给出了中元古代(1753 Ma 左右)年龄信息, 暗示带内花岗闪长质岩浆受到了古老地壳物质的混染作用或前寒武纪岩石是其熔融源区的重要组成之一.

关键词 单颗粒锆石 U-Pb 定年 花岗闪长质小岩体 岩石成因 湘东南

湘东南地区地处扬子陆块与华夏陆块的结合部位, 其西为扬子陆块, 东为华夏陆块. 该区不仅是一个极富特色的铜金多金属成矿密集区带, 同时也是华南中生代火山岩、花岗闪长质小岩体及华南内部唯一出露早中生代基性-超基性岩包体的分布区带(图 1)^[1]. 由于其大地构造位置的特殊性, 长期以来对该带构造属性的归属有着不同的意见, 如认为自古生代以来该区长期处于裂陷槽发育部位^[1,2], 或认为是特提斯洋通过的位置^[3,4], 或是华夏远程推覆体的一部分^[5,6]. 最新的研究表明, 华南地区晚中生代以来存在强烈的岩石圈伸展减薄或软流圈地幔物质的上涌^[7~10], 认为中生代以来属陆内造山作用过程^[11], 然而由于缺乏对早中生代具幔源贡献岩石的精确年代学研究, 从而严重制约了该区早中生代构造背景的深入理解^[12]. 湘东南构造岩浆带作为华南大地构造的重要结合部位, 发育了能有效示踪岩浆深部过程和构造背景的中生代高钾钙碱性花岗闪长质小岩体^[1,2,13~15], 这些小岩体在时空上与铜多金属矿床, 如铜山岭、宝山、水口山等密切共生^[1,16], 其 K-Ar 法同位素年龄变化于 254~107 Ma 之间^[2]. 因此, 湘东南地区花岗闪长质岩石成因及形成时代的精确厘定将有助于加深对华南早中生代大地构造演化、深部作用过程及动力学背景的理解, 同时也能有效约束带内铜多金属成矿作用发生时代. 本文通过单颗粒锆石 U-Pb 法定年研究精确限定了带内花岗闪长质岩体的形成年龄, 也为约束花岗闪长质岩石形成的源区特征和带内铜多金属矿床的成矿时代提供了重要依据.

1 地质概况及样品描述

区内出露地层为古生界灰岩、碎屑岩, 构造-岩浆作用强烈, 花岗闪长质小岩体成带状密

2000-10-24 收稿, 2001-04-12 收修改稿

* 国家 973 项目(编号: G-1999-04-32-09)、中国科学院知识创新工程项目(编号:KZCX2-102)和国家自然科学基金项目(批准号:40002007)联合资助

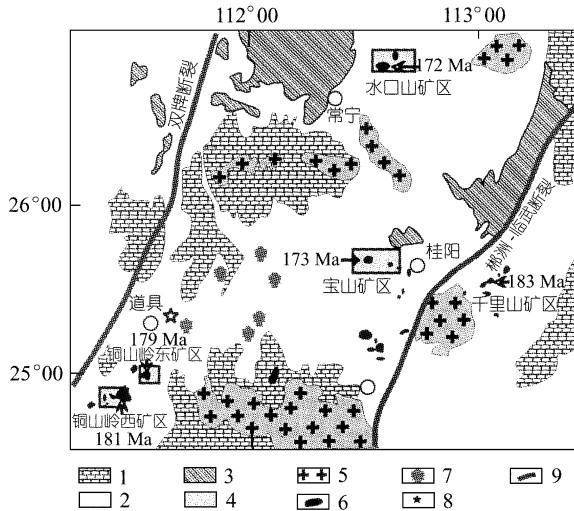


图 1 湘东南花岗闪长质小岩体和铜多金属矿床分布图
1. 震旦纪-早古生代沉积岩, 2. 晚古生代-早中生代沉积岩, 3. 晚中生代-新生代沉积岩, 4. 铜金多金属矿床布区, 5. 印支晚期 S 型花岗岩 (200~240 Ma), 6. 花岗闪长岩侵入体, 7. 晚中生代火山岩露头, 8. 早中生代基性-超基性岩片麻岩体出露区, 9. 断裂

集分布. 区域上自北而南展布的水口山、宝山、铜山岭地区是带内铜多金属矿床和花岗闪长质小岩体出露的典型代表(图 1), 其中位于带内南段和中段的铜山岭、宝山花岗闪长岩体侵位于下石炭统; 位于北段的水口山花岗闪长质小岩体侵位于上二叠统中^[1,2].

本文单颗粒锆石 U-Pb 定年的 4 个样品分别取自水口山矿区、宝山矿区、铜山岭东矿区(江华部分)和西矿区(江永部分)的新鲜花岗闪长岩, 样品岩性均为黑云母花岗闪长(斑)岩, 斑状或不等粒自形结构、块状构造, 主要矿物有黑云母 (5%~15%), 普通角闪石(1%~10%), 石英 (5%~35%), 中性长石 (35%~55%), 钾长石 (5%~30%), 辉石矿物少见, 副矿物主要有锆石、磷灰石、榍石、褐帘石、金属矿物等.

2 分析测试方法和测定结果

通过人工重砂法从样品中分选出锆石, 然后在双目镜下挑选出无裂隙、无包体、透明干净的自形锆石颗粒. 颗粒锆石 U-Pb 定年测试在国土资源部天津地质矿产研究所采用同位素稀释法进行. 锆石在 0.25 mL 容积的氟塑料容器内溶解, 使用 ^{208}Pb - ^{235}U 混合稀释剂, U, Pb 含量和同位素比值测定在 VG354 质谱仪上用高灵敏度 Daly 检测器进行, 实验室全流程 U, Pb 空白分别为 0.050 ng 和 0.002 ng, 所有铀-铅同位素数据均对质量歧视效应进行了校正^[17].

4 个样品的 18 个颗粒锆石 U-Pb 同位素测定结果列于表 1, 谐和图见图 2.

宝山矿区花岗闪长质小岩体(BSH-7). 样品中锆石呈浅黄色透明长柱状或短柱状自形晶体, 4 颗锆石的测定结果全部落在谐和线上, 1~4 号点无论是同一颗粒还是不同颗粒之间, 3 组表面年龄值几乎完全一致, 并给出 (173.3 ± 1.9) Ma 的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄统计权重平均值.

水口山矿区花岗闪长质小岩体(SHKSH-7). 样品中锆石 1~3 号点呈浅棕色透明长柱状自形晶体, 数据点全部落在谐和线上, 给出 (172.3 ± 1.6) Ma 的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄统计权重平均值. 而 4 号锆石呈浅棕色透明短柱状自形晶体, 数据点偏离谐和线, 给出 (666 ± 27) Ma 的 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 表面年龄.

铜山岭东矿区江华花岗闪长岩体(TSHD-1). 样品中 1, 2 号颗粒锆石呈浅棕色透明长柱状或短柱状自形晶体, 数据点落在谐和线上, 给出 (178.9 ± 1.7) Ma 的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄统计权重平均值; 5 号点锆石为浅棕色透明长柱状晶体, 给出 (1752 ± 4) Ma 的 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 表面年龄; 3, 4 号点为浅棕色透明短柱状晶体, 数据点偏离谐和线, 与 1, 2 号点组成的不一致线上交点年龄值为 (1753 ± 26) Ma, 下交点年龄值为 (177.1 ± 1.6) Ma, 下交点年龄在实验误差范围内与 1, 2

表 1 湘东南花岗闪长质小岩体的单颗粒锆石 U-Pb 同位素分析结果^{a)}

样品情况			浓度		样品中的普 通 Pb 含量 /ng	同位素原子比率					表面年龄/Ma			
样品号	点号	锆石特征	重量 /μg	U/μg · g ⁻¹		Pb/μg · g ⁻¹	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}}$	$\frac{^{208}\text{Pb}}{^{206}\text{Pb}}$	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{235}\text{U}}$	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{206}\text{Pb}}$	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{235}\text{U}}$	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{206}\text{Pb}}$
TSHD-1	1	浅棕色透明短柱状自形晶体	15	1248	37	0.041	839	0.08139	0.02818 (40)	0.1938 (48)	0.04987 (93)	179.1	179.8	189.1
	2	浅棕色透明长柱状自形晶体	20	942	28	0.025	1339	0.1106	0.02810 (38)	0.1927 (40)	0.04973 (71)	178.7	178.9	182.2
	3	浅棕色透明柱状晶体	20	1577	52	0.087	727	0.08027	0.03086 (23)	0.2386 (26)	0.05608 (41)	195.9	217.3	455.6
	4	浅棕色透明短柱状晶体	20	979	46	0.044	1205	0.07253	0.04584 (37)	0.4701 (48)	0.07438 (41)	289.0	391.3	1052
	5	浅棕色透明长柱状自形晶体	20	755	45	0.017	2848	0.09760	0.05603 (32)	0.8280 (52)	0.1072 (3)	351.4	612.5	1752
1,2 号点 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄统计权重平均值: (178.9±1.7) Ma; 1~4 号点上交点年龄值: (1753±26) Ma, 下交点年龄值: (177.1±1.6) Ma														
TSHX-1	1	浅棕色半透明柱状晶体	20	1930	60	0.059	1274	0.07157	0.03050 (19)	0.2214 (21)	0.05265 (33)	193.7	203.1	313.8
	2	浅棕色透明短柱状晶体	20	861	28	0.010	3659	0.08119	0.03256 (26)	0.2466 (28)	0.05492 (39)	206.5	223.8	409.2
	3	浅棕色透明短柱状晶体	20	1374	47	0.029	2033	0.08255	0.03359 (32)	0.2648 (45)	0.05717 (78)	213.0	238.5	498.0
	4	浅棕色透明长柱状晶体	15	2542	97	0.096	848	0.09088	0.03603 (22)	0.2931 (28)	0.05899 (42)	228.2	261.0	566.9
	5	浅棕色透明细长柱状晶体	15	670	27	0.008	2691	0.1206	0.03821 (44)	0.4069 (57)	0.07725 (54)	241.7	346.7	1128
5 号点 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 表面年龄值: (1128±14) Ma; 1~4 号点上交点年龄值: (1411±252) Ma, 下交点年龄值: (181.5±8.8) Ma														

样品情况			浓度		样品中的普通 Pb 含量/ng	同位素原子比率 ^{a)}				表面年龄/Ma				
样品号	点号	锆石特征	重量 /μg	U/μg · g ⁻¹		Pb/μg · g ⁻¹	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}}$	$\frac{^{208}\text{Pb}}{^{206}\text{Pb}}$	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{235}\text{U}}$	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{206}\text{Pb}}$	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{235}\text{U}}$	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{206}\text{Pb}}$
SHKSH-7	1	浅棕色透明长柱状自形晶体	20	997	31	0.049	715	0.1782	0.02708 (35)	0.1850 (38)	0.04955 (78)	172.2	172.4	174.0
	2	浅棕色透明细长柱状自形晶	10	1536	59	0.150	195	0.1888	0.02716 (43)	0.1861 (48)	0.04970 (91)	172.7	173.3	180.8
	3	浅棕色透明长柱状自形晶	20	484	18	0.081	222	0.1810	0.02700 (69)	0.1846 (75)	0.04958 (143)	171.8	172.0	175.5
	4	浅棕色透明短柱状晶体	20	992	37	0.120	324	0.1570	0.04301 (35)	0.2560 (46)	0.06176 (77)	191.0	231.5	666
4 号点 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 表面年龄值: (666 ± 27) Ma; 1~3 号点 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄统计权重平均值: (172.3 ± 1.6) Ma														
BSH-7	1	浅黄色透明细长柱状自形晶	20	247	9	0.038	242	0.1671	0.02714 (135)	0.1858 (148)	0.04964 (280)	172.7	173.0	178.0
	2	浅黄色透明细柱状自形晶体	20	560	17	0.013	1505	0.1686	0.02711 (51)	0.1853 (54)	0.04957 (100)	172.4	172.6	174.9
	3	浅黄色透明短柱状自形晶体	20	744	27	0.130	220	0.1426	0.02734 (48)	0.1887 (75)	0.05006 (167)	173.9	175.5	198.0
	4	浅黄色透明短柱状自形晶体	20	455	14	0.015	1046	0.1451	0.02733 (63)	0.1872 (66)	0.04968 (119)	173.8	174.3	180.3
1~4 号点 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄统计权重平均值: (173.3 ± 1.9) Ma														
4 个样品中所有落在谐和线上 9 个数据点 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄统计权重平均值: (174.2 ± 1.8) Ma														

a) $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 已对实验空白(Pb = 0.050 ng, U = 0.002 ng)及稀释剂作了校正。其他比率中的铅同位素均为放射性铅同位素, 括号内的数字为(2σ)绝对误差。例如: 0.1861(48)表示 $0.1861 \pm 0.0048(2\sigma)$

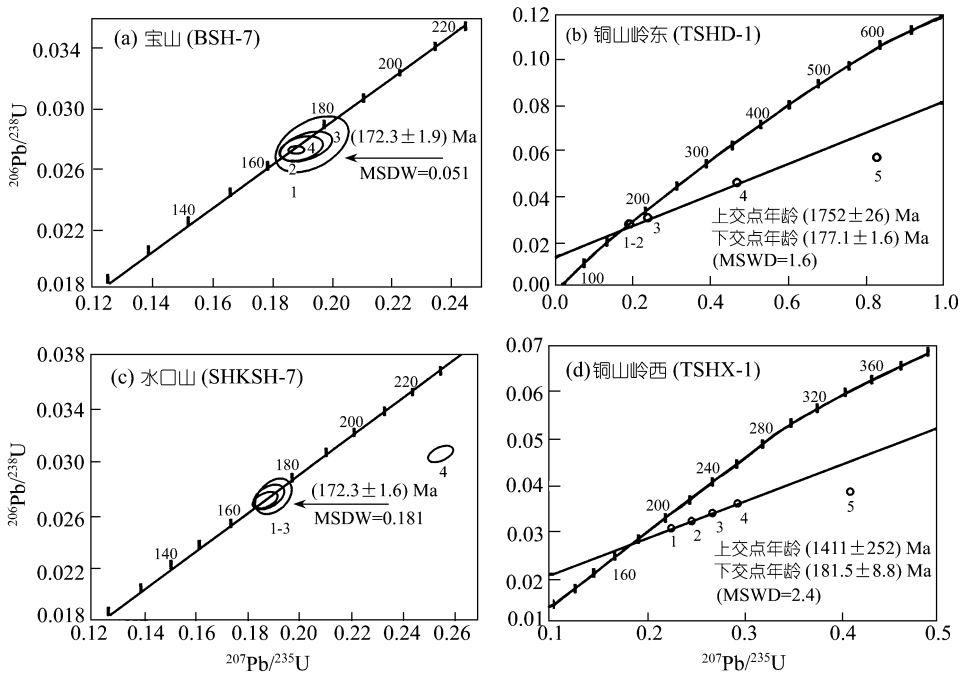


图 2 颗粒锆石 U-Pb 定年谐和线图

号点给出的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄权重值一致; 而上交点年龄与 5 号点给出的 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 表面年龄在实验误差范围内相吻合。

铜山岭西矿区江永花岗闪长岩体(TSHX-1). 样品中锆石呈浅棕色透明或半透明长柱状或短柱状晶体, 测试 5 颗锆石落于谐和线下方, 表明有不同程度的放射性成因 Pb 丢失. 其中 1~4 号点的拟合直线与谐和线的上交点年龄为(1411 ± 252) Ma, 下交点年龄(181.5 ± 8.8) Ma, 5 号点给出(1128 ± 14) Ma 的 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 表面年龄。

3 讨论

3.1 岩体形成时代的确定

宝山、水口山、铜山岭东矿区花岗闪长岩样品落在谐和线上的颗粒锆石, 分别给出了 (173.3 ± 1.9) Ma、(172.3 ± 1.6) Ma、(178.9 ± 1.7) Ma 的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄统计权重平均值, 该表面年龄可代表锆石结晶年龄, 对应各岩体形成年龄. 铜山岭西部花岗闪长岩体(181.5 ± 8.8) Ma 的下交点年龄与铜山岭东部花岗闪长岩体(177.1 ± 1.6) Ma 的下交点年龄在实验误差范围内一致, 表明铜山岭东、西花岗闪长岩体形成年龄相同. 以上述 4 个样品中落在谐和线上的 9 个锆石数据点进行统计, 给出 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄统计权重平均值为(174.2 ± 1.8) Ma, 因此, 湘东南地区花岗闪长质小岩体的形成时代应在 174 Ma 左右。

3.2 成矿时代的约束

湘东南花岗闪长质小岩体与带内铜多金属成矿作用关系密切已得到地质学界的公认, 宝山、水口山等矿区内花岗闪长质小岩体多被矿化, 甚至在部分地段已是铜金多金属矿体. 宝山、水口山、铜山岭矿区花岗闪长质小侵入体形成于 172~181 Ma, 这一年龄界定了湘东南铜

多金属成矿带成矿作用的年龄上限.

3.3 成因指示及构造意义

测定结果中部分锆石获得了远大于 174 Ma 的 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 表面年龄和上交点年龄, 铜山岭东矿区花岗闪长岩体给出了 (1753 ± 26) Ma 的上交点年龄, 这一年年龄与带内道县片麻岩包体 (1964 ± 164) Ma 的变质年龄近似^[18], 暗示铜山岭花岗闪长岩侵入体的形成与前寒武纪基底岩石关系密切, 铜山岭花岗闪长岩侵入体中含闪长岩包体/残留体也证实这一点. 目前的研究也表明, 同处于湘东南构造岩浆带的水口山、铜山岭、宝山和千里山花岗闪长质岩石, 属板内高钾钙碱性岩石, 有着一致的岩相学和主、微量元素地球化学特征, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}(t) = 0.7040 \sim 0.7090$, $\delta\text{O}^{18} = 8.62 \sim 10.68$, $\varepsilon_{\text{Nd}}(t) = -1.39 \sim -7.59$ ^[2,15,19,20], 相似于近年在浙赣湘桂及粤西地区识别出的与中生代裂谷作用有关的中生代高 $\varepsilon_{\text{Nd}(T)}$ 、低 T_{DM} 花岗岩带^[21~23]. 这些闪长质岩石的元素-同位素地球化学研究表明其岩浆是幔源物质与中下地壳混合后部分熔融作用的产物^{[13]1)}. 因此, (1753 ± 26) Ma 的上交点年龄可能代表了带内花岗闪长岩岩浆源区地壳端元组分的年龄.

前人研究表明, 产出于同一构造岩浆带稍早于花岗闪长质侵入体的道县辉长岩包体(224 Ma)和晚于花岗闪长岩的火山岩和基性岩脉(90~140 Ma)在岩石地球化学和同位素地球化学上具板内环境和软流圈来源特征^[7,8,10,12,24], 表明该地区自早中生代以来存在多期次岩石圈伸展-减薄作用和软流圈物质的上涌. 湘东南高钾钙碱性花岗闪长质侵入体形成时代的精确限定及其成因指示无疑为全面理解华南中生代大地构造演化和岩石圈构造背景的演变提供了重要年代学资料.

参 考 文 献

- 1 湖南省地质矿产局. 湖南省区域地质志. 北京: 地质出版社, 1988. 180~330
- 2 庄锦良, 刘钟伟, 谭必祥, 等. 湘南地区小岩体与成矿关系及隐伏矿床预测. 湖南地质, 1988, (增刊第 4 号): 31~72
- 3 殷鸿福. 华南是特提斯多岛洋体系的一部分. 地球科学, 1999, (1): 1~12
- 4 张伯友, 赵振华, 石满全, 等. 岑溪二叠纪岛弧型玄武岩的首次厘定及大地构造意义——两广交界古特提斯构造带的重要证据. 科学通报, 1997, 42(4): 413~417
- 5 Hsu K J, Jiliang Li, Haihong Chong, et al. Tectonic of South China: Key to understanding West Pacific geology, Tectonophysics, 1990, 183: 9~39
- 6 陈海泓. 多岛洋碰撞造山——以华南印支期造山带为例. 地学前缘, 1998, 5: 95~102
- 7 李献华. 诸广山岩体中基性岩脉的成因初探——Sr, Nd, O 同位素证据. 科学通报, 1990, 35(16): 1247~1249
- 8 李献华, 胡瑞忠, 饶冰. 粤北白垩纪基性岩脉的年代学和地球化学. 地球化学, 1997, 26(2): 14~31
- 9 李献华, 周汉文, 刘颖, 等. 桂东南钾玄质侵入岩带及其岩石学和地球化学特征. 科学通报, 1999, 44(18): 1992~1998
- 10 Li X H. Cretaceous magmatism and lithospheric extension in Southeast China. Journal of Asian Earth Sciences, 2000, 18: 293~305
- 11 舒良树, 孙岩, 王德滋, 等. 华南武功山中生代伸展构造. 中国科学, D 辑, 1998, 28(5): 431~438
- 12 郭锋, 范蔚茗, 林舸, 等. 湘南道县辉长岩包体的年代学研究及成因探讨. 科学通报, 1997, 42(15): 1661~1663
- 13 Foley S, Amand N, Liu J, et al. Potassic and ultrapotassic magmas and their orogin. Lithos, 1992, 28: 181~185
- 14 Turner S, Arnaud N, Liu J, Rogers N, et al. Post-collision, shoshonitic volcanism on the Tibetan Plateau: Implications for convective thinning of the lithosphere and the source of ocean Island basalts. Journal of Petrology, 1996, 37(1): 45~71

1) Wang Yuejun, Fan Weiming, Guo Feng. Geochemistry of Early Mesozoic potassium-rich Diorite-Granodiorites in Southeastern Hunan Province, South China: Petrogenesis and Tectonic Implications (待刊)

- 15 王岳军, 范蔚茗, 郭 锋, 等. 湘东南中生代花岗闪长质小岩体的岩石地球化学特征. 岩石学报, 2001, 17(1): 169~175
- 16 Muller D, Groves D I. Potassic igneous rocks and associated Gold-copper mineralization. Beilin: Springer-Verlag, 1995. 1~144
- 17 李惠民, 董传万, 徐夕生, 等. 泉州辉长岩中单颗粒锆石 U-Pb 法定年-闽东南基性岩浆岩的起源. 科学通报, 1995, 40(2): 158~160
- 18 郭 锋, 范蔚茗, 林 舸, 等. 湖南省道县片麻岩包体的岩石学特征与年代学研究. 长春地质学院学报, 1997, 27(1): 25~30
- 19 刘义茂, 戴懂谟, 卢焕章, 等. 千里山花岗岩成岩成矿的 ^{40}Ar - ^{39}Ar 和 Sm-Nd 同位素年龄. 中国科学, D 辑, 1997, 27(4): 425~430
- 20 毛景文, 李红艳, 裴荣富. 湖南千里山花岗岩体的 Sr-Nd 同位素及岩石成因研究. 矿床地质, 1995, 14(3): 235~242
- 21 Chen J F, Jahn B M. Crustal evolution of southeastern China: Nd and Sr isotopic evidence. Tectonophysics, 1998, 284: 101~133
- 22 Gilder S A. Isotopic and paleomagnetic constraints on the Mesozoic tectonic evolution of South China. J Geophys Res, 1996, 101(B7): 16137~16154
- 23 李献华, 周汉文, 刘 颖, 等. 粤西阳春中生代钾玄质侵入岩及其构造意义: II 微量元素和 Sr-Nd 同位素地球化学. 地球化学, 2001, 30(1): 58~64
- 24 赵振华, 包志伟, 张伯友. 湘南中生代玄武岩类地球化学特征. 中国科学, D 辑, 1998, 28(增刊): 7~14