科 学 通 报
第42卷 第9期 Chinese Science Bulletin 1997年5月

【研究简报】

闽东南晚中生代的壳幔作用:平潭火成杂岩的同位素证据

董传万① 周新民①* 李惠民② 任胜利③ 周新华③
(①南京大学地球科学系,南京 210093;②天津地质矿产研究所,天津 300170;
③中国科学院地质研究所,北京 100029. *联系人)

关键词 壳幔作用 火成杂岩 闽东南

幔源玄武质岩浆底侵并与下部地壳的相互作用,是地壳增生和改造的一种重要方式[1],

时,冻结缘的厚度不随冻结历时变化;(3)当冻结锋面前移速度小于分凝冰层暖端的位置上抬速度时,冻结缘的厚度随冻结历时增长而减小. 由此可见,冻结缘的厚度及其变化不但取决于土体的性质,而且取决于试验的边界条件(如温度和压力). 冷、暖端面温差小,易产生第一种模式;冷、暖端面温差增大,则从第二种模式逐渐向第三种模式转化.

3 结论

根据冻结温度叠加原理提出在考虑土、水、温、盐和力影响的前提下未冻水含量变化的综合预报模式,计算值与实测值的最大差值<3%.

提出利用未冻水含量与温度关系曲线及土体起始冻结温度和冷端面温度预报冰分凝温度,计算值与实测值的最大差值为0.3℃.

冻结缘的厚度随时间的变化有持续增大、增大后相对稳定和增大后逐渐减小三种模式,其确定方法尚待进一步研究.

致谢 本工作为国家自然科学基金(批准号:49171021)和冻土工程国家重点实验室资助项目.

参 考 文 献

1 徐学祖,邓友生. 冻土中水分迁移的实验研究. 北京:科学出版社,1991. 9~35
2 徐学祖,王家澄,张立新,等. 土体冻胀和盐胀机理. 北京:科学出版社,1995. 7~40
3 Xu Xuezu, Oliphant J L, Tice A R. Prediction of unfrozen water content in frozen soils by a two-point or one-point method. The 4th Intl Symp on Ground Freezing, Sapporo, Japan, 1985, 2: 83~87
4 Xu Xuezu, Zhang Lixin, Wang Jiacheng. Establishment of model for predicting unfrozen water content in saline soils. Cryosphere, 1995, 1: 57~62
5 Banin A, Anderson D M. Effects of salt concentration changes during freezing on the unfrozen water content of porous materials. Water Resources Research (Netherlands), 1974, 10(1): 124~128
6 Ishizaki T, Fukuda M, Xu Xiaozu, et al. Frost heave experiments with layered porous material. The 7th Intl. Symp on Ground Freezing, 1994. 399~400
7 Konrad J M, Morgenstern N R. The segregation potential of a frozen soil. Canadian Geotechnical Journal, 1981, 18: 482~491

(1996-05-22 收稿,1996-08-14 收修改稿)

也是形成钙碱性花岗岩类杂岩的重要机制[2]. 因此,在钙碱性花岗岩中往往保存着壳幔作用的信息. 本文以福建平潭钙碱性火成杂岩为例,据其单粒锆石 U-Pb 法定年和全岩 Sm-Nd 同位素研究,结合闽东南的地球物理资料,讨论这一地区的壳-幔相互作用问题.

1 平潭火成杂岩地质概况

福建平潭县是我国第五大岛. 岛上出露角闪辉长岩、花岗闪长岩和花岗岩. 它们的出露面积比约为 6:12:82,构成以花岗岩为主体的钙碱性杂岩. 这一面积比说明,不可能由一种基性岩浆演化出面积比之大约 20 倍的花岗岩类. 野外观察表明,角闪辉长岩呈岩株、岩墙穿插在花岗岩中,岩墙边界弯曲呈细褶状. 在岩墙附近的花岗质岩石中常集结着大量定向分布的浑圆状、鱼群状辉长质岩石包状,构成层流状(Stromatitic-like)构造. 其中一些较大的岩石包体具冷凝边,有的又具反向脉(Back-vein). 这些包体是同深成岩墙边缘的两种岩浆混合过程中的条带状辉长质岩浆碎块. 以上地质学证据表明,平潭火成杂岩是由两种独立的岩浆,即辉长质岩浆和花岗质岩浆,近于同时结晶形成的.

2 单粒锆石 U-Pb 法定年与全岩 Sm-Nd 同位素特征

为了检验上述地质推论,测定了角闪辉长岩和花岗岩中单粒锆石 U-Pb 同位素和全岩 Sm-Nd 同位素组成. 其结果分别列于表 1 和表 2. 测试结果表明,平潭角闪辉长岩和花岗岩中单粒锆石谐和线年龄值分别为(115.2±1.2)和(124.7±0.5)Ma. 由于锆石是 SiO_2 饱和矿物,其晶出时间大致与岩石中石英的出现相近,所以将上述两个年龄值作为角闪辉长岩和花岗岩固结的中间年龄值. 单粒锆石的U-Pb定年证实了二种岩石近于同时结晶. 依此年龄值,据

表 1 平潭角闪辉长岩和花岗岩的单粒锆石 U-Pb 同位素测定结果

	锆石特征	重量/μg	浓度 μg·g⁻¹ U	浓度 μg·g⁻¹ Pb	样品中普通铅总量/ng	同位素原子比率a) $^{206}Pb/^{204}Pb$	$^{208}Pb/^{206}Pb$	$^{206}Pb/^{238}U$	$^{207}Pb/^{235}U$	$^{207}Pb/^{206}Pb$	表面年龄值/Ma $^{206}Pb/^{238}U$	$^{207}Pb/^{235}U$	$^{207}Pb/^{206}Pb$
角闪辉长岩	无色,短柱状	20	581	43	0.35	41	0.364 1	0.018 29 (27)	0.122 0 (310)	0.048 40 (1 200)	116.8	116.9	118.8
	无色,长柱状	50	255	8	0.055	145	0.353 0	0.017 80 (26)	0.118 8 (305)	0.048 39 (1180)	113.8	114.0	118.3
花岗岩	无色,长柱状	30	822	22	0.079	212	0.196 7	0.019 05 (17)	0.127 7 (192)	0.048 63 (710)	121.6	122.0	129.8
	无色,短柱状	50	723	18	0.053	442	0.207 1	0.019 66 (9)	0.131 4 (70)	0.048 47 (244)	125.5	125.4	122.5

a) $^{206}Pb/^{204}Pb$ 已对空白及稀释剂作了校正. 其它原子比率中的铅同位素均为放射成因铅同位素. 括号内数值为 2σ 误差

表 2 平潭角闪辉长岩和花岗岩的 Sm-Nd 同位素测定结果a)

	Sm ×10⁻⁶	Nd ×10⁻⁶	$^{147}Sm/^{144}Nd$	$^{143}Nd/^{144}Nd$	年龄/Ma	$\varepsilon_{Nd}(T)$	I_{Nd}	T_{DM}/Ma
角闪辉长岩	1.94	7.94	0.147 8	0.512 535 ±11	115.2± 1.2	−1.28 (115 Ma)	0.512 424	1 420
花岗岩	3.71	17.73	0.126 6	0.512 503 ±11	124.7± 0.5	−1.51 (124 Ma)	0.512 400	1 130

a)年龄据本文表 1

全岩 Sm-Nd 同位素测试结果，计算出角闪辉长岩和花岗岩的 $\varepsilon_{Nd}(T)$ 值分别为 -1.28 和 -1.51，两者很接近. 这意味着辉长质岩浆和花岗质岩浆混合时，它们的同位素组成发生了交换并已基本达到均一化.

3　讨论

对比闽东南漳州二长花岗岩和辉长苏长岩、泉州辉长岩(伴生花岗岩)以及永泰流纹岩和玄武岩的同位素定年和 Nd, Sr 同位素资料[3~5](表 3)，发现它们与平潭的几乎一样，各自有相

表 3　闽东南主要火成杂岩及复合岩流的同位素年龄和 $\varepsilon_{Nd}(T)$，I_{Sr}值[a)]

	岩体	岩性	T/Ma	$\varepsilon_{Nd}(T)$	I_{Sr}	T_{DM}/Ma	资料来源
侵入杂岩	漳州	二长花岗岩	100.3 (锆石 U-Pb 法)	-4.02	0.706 4	1 070.3	
		辉长苏长岩	123.2±6.7 (2 全岩 + 1 辉石, Rb-Sr 法, r = 0.998 5)	-3.12	0.705 7	908	[3]
	平潭	花岗岩	124.7±0.5 (单粒锆石 U-Pb 法, 谐和线年龄)	-1.51	0.707 1	1 130	
		角闪辉长岩	115.2±1.2 (单粒锆石 U-Pb 法, 谐和线年龄)	-1.28	0.706 1	1 420	本文
	泉州	角闪辉长岩	106.2±0.2 (单粒锆石 U-Pb 法, 谐和线年龄)	-4.41		1 221	[4]
复合岩流	永泰	流纹岩	107.9 (全岩 K-Ar 稀释法)	-2.70		1 025.5	
		玄武岩	106.8 (全岩 K-Ar 稀释法)	-3.23		1 115.0	[5]

a) CHUR 取 $^{143}Nd/^{144}Nd = 0.512\,638$, $^{147}Sm/^{144}Nd = 0.196\,7$; DM 取 $^{143}Nd/^{144}Nd = 0.513\,151$, $^{147}Sm/^{144}Nd = 0.213\,6$

近的年龄、$\varepsilon_{Nd}(T)$ 值和 I_{Sr} 值. 因而从更大地域范围证明，在中晚白垩世，来自上地幔的玄武质岩浆和花岗质岩浆的同位素组成发生了充分的交换. 当两种成分不同的岩浆在储源长期共存时，两岩浆界面间会出现某些界面效应，如热扩散、同位素交换以及沿着界面发生的两种熔体的化学混合. 其中热扩散的速度最快，而熔体之间同位素的交换又比主元素的化学均匀化过程快得多[6]. 这就解释了共生的基性岩-酸性岩组合(如辉长岩-花岗岩、玄武岩-流纹岩)的同位素组成的基本一致性. 它正是壳-幔岩浆相互作用的地球化学表现. 在后续的岩浆上升、侵位过程中，则主要表现为两种岩浆主元素的机械混合，构成杂岩体或复合岩流.

作为壳幔作用的地球物理和深部岩石学证据的资料是，闽东南是可能的地幔上涌、地壳减薄的伸展构造区，因为“福建沿海莫霍面明显隆起，地壳变薄，具大陆向海洋过渡的边缘地区结构特征”[7]；“在 5 公里以下深部存在一系列向东倾斜、倾角 4°到 10°的滑脱面”[8]，它与震源有关；“在下地壳下部存在数公里的高速致密的壳幔混合物层，其形成是由于上地幔物质上涌并迁移到下地壳的结果”[7]. 该壳幔混合物层的岩石样品新近已从邻近闽东南的广东麒麟玄武岩筒中寻找到，它是代表下地壳组分的辉长岩-麻粒岩深源捕虏体[9]，是赋存在下地壳深度的上地幔物质，即底侵的玄武质岩浆的产物.

上述闽东南地区壳幔作用的岩石学、地球化学和地球物理学资料表明，平潭钙碱性火成杂

科 学 通 报
第42卷 第9期 Chinese Science Bulletin 1997年5月

【研究简报】

天石蕨属一新种(*Szea henanense* sp. nov.)在河南的发现及其演化意义

杨关秀 盛阿兴 王洪山
(中国地质大学,北京 100083)

关键词 中二叠世 里白科 天石蕨属(*Szea*)

隶属于里白科(Gleicheniaceae)的稀囊蕨(*Oligocarpia*)和晋囊蕨(*Chansitheca*)在华北二叠系中已早有记述[1]. 姚兆奇等人[2]在江苏镇江伏牛山煤田发现了具里白科特征的生殖叶,与已知的 *Oligocarpia* 和 *Chansitheca* 不同,经过对生殖器官的详细研究,确认应归入里白科,定名为天石蕨(*Szea*). 姚等人[2, 3]还认为华南、江苏、福建、贵州、云南等地原归入 *Cladophlebis* 各种的一些化石都应归入天石蕨属,华北 *Cladophlebis permica* Lee et Wang 的标本及产于河南禹州的 *Cladophlebis henanensis* Zhang et Mo, 则改归入李氏蕨属(*Lixotheca*). 近年来,笔者

岩由两种不同成分岩浆混合而成,其过程是底侵于下地壳的幔源玄武质岩浆加热并使下部地壳部分熔融形成花岗质岩浆;在后续的上升过程中玄武质岩浆又与花岗质岩浆混合,形成品种多样、但以花岗质岩石为主体的杂岩体(壳幔型). 对这一典型实例的认识,为解释中国东南沿海一带花岗岩的成因提供了新的思路.

致谢 本工作为国家自然科学基金(批准号:49632080)资助项目.

参 考 文 献

1 Voshage H, Hofman A W, Mazzuhell M, et al. Isotopic evidence from the Irvea zone for a hybrid lower crust formed by magmatic underplating. Naure, 1990, 347:731～737
2 Cocherie A, Rossi Ph, Fouillac A M, et al. Crust and mantle contributions to granite genesis——an example from the Variscan batholith of Corsica, France, studied by trace-element and Nd-Sr-O-isotope systematics. Chemical Geology, 1994, 115:173～211
3 周珣若,吴克隆著. 漳州Ⅰ-A型花岗岩. 北京:科学出版社,1994. 90～91
4 李惠民,董传万,徐夕生,等. 泉州辉长岩中单粒锆石U-Pb法定年:闽东南基性岩浆岩的起源. 科学通报,1995,40:158～160
5 冯宗帜,卉润章,黄水兴,等. 福建永泰德化地区火山地质及火山岩含矿性. 中国地质科学院南京地质矿产研究所所刊,1991,第九号(增刊):61～63
6 Lesher C E. Decoupling of chemical and isotopic exchange during magma mixing. Nature, 1990, 344:235～237
7 廖其林,王振民,王屏路,等. 福州-泉州-汕头地区地壳结构的爆炸地质研究. 地球物理学报,1988,31:270～280
8 万天丰,褚明纪. 闽台铲状活动断裂. 地球科学,1987,12:21～29
9 徐夕生,周新民. 广东麒麟新生代玄武质角砾岩筒中岩石包体研究. 岩石学报,1995,11:441～448

(1996-05-22收稿,1996-09-04收修改稿)