

献给校庆40周年

岩石学论文集

中国地质大学岩石教研室

中国地质大学出版社

庆祝校庆四十周年
发展学科，努力攀登

尚际池

前 言

当代岩石学研究进展很快,已经摆脱以往描述岩石学的束缚而深入于岩石成因、环境和演化机制的研究,从定性走向定量,从臆测走向实证。本文集反映了1987年以来我室(京、汉两地)教师在教学之余从事科学研究的部分成果。

文集以岩浆岩方向的论文居多。近年来,岩浆岩岩石学研究日益将岩浆演化与构造环境和成矿作用相联系,利用岩浆岩特别是那些在成因上与地幔有关的岩石,论证壳幔关系,推断深部构造,是一个很受各方面重视的研究方向。

以邱家骥教授为首的科研集体,“七五”期间对秦巴碱性岩进行了研究,深入探讨了它的成因和构造环境,邱家骥等和喻学惠、许继锋的论文反映了这一成果。路凤香教授等长期坚持金伯利岩研究,路凤香、赵磊、郑建平等的论文反映了这一专题研究新的进展和成果。青藏、三江地区是我国西部构造最复杂的地区。莫宣学和赵崇贺教授的论文,总结了我国西部造山带火山岩研究中的若干新问题,标志着构造环境-岩浆作用-成矿作用三位一体研究方向的新进展。花岗岩一直是岩石学中的经典课题,本文集发表了叶德隆、康景霞、朱勤文等从不同侧面研究花岗岩的新成果。

当代沉积岩石学研究的前沿是沉积体系和层序地层学。所谓沉积体系是指沉积环境、沉积相,尤其是沉积相在垂向和侧向的空间关系。余素玉教授和周杰等分别就巴彦浩特盆地的石炭纪和南华北二叠纪河控三角洲沉积体系的研究,反映了这方面的研究水平;郭金华将沉积环境研究用于水工建筑,则反映了当前科研与生产密切结合的新方向。

当代变质地质学的进展已从单纯描述变质过程转为定量地研究变质过程,可以一级近似地了解变质作用中热和物质的迁移。游振东、陈能松等1985年以来对秦岭地区的工作揭开了这种研究的帷幕,本文集发表的两篇关于秦岭大别造山带变质岩和变质作用的论文,部分地反映了这方面的成果;陈强安、王方正等对冀北太古宙麻粒岩热历史的研究也显示了这方面的探索和进展。

此外,孙平、叶松、张泽明的论文分别报道了玄武岩、蛇绿岩和榴辉岩的具体研究成果;邵道乾等的论文还报道了用电子探针能谱作全岩化学成分测定的系统实验研究成果。

值此校庆40周年之际,谨以此文集献给广大地质界同仁,诚望多批评指正。

本文集出版得到地质系和出版社的支持。编审小组做了大量工作。方勤和王柏轩也做了许多具体工作。特此致谢。

游振东

1992.5

目 录

东秦岭-大别对接造山带变质岩的地球动力学信息	游振东 韩郁菁 桑隆康 钟增球 陈能松 张泽明 周汉文 (1)
秦巴碱性岩的分布、来源及构造环境	邱家骥 李昌年 (10)
有关金伯利岩定义的讨论——来自岩相学的证据	路凤香 赵磊 郑建平 (23)
巴彦浩特盆地东缘石炭纪沉积体系和层序地层研究	余素玉 王新志 (31)
△我国西部造山带火山岩研究中的一些新问题	莫宣学 (47)
△西藏阿里班公湖地区火成岩组合及构造演化	赵崇贺 (56)
河北兴隆 M111 稀有金属花岗岩的典型结构及其成因分析	叶德隆 (70)
全岩化学成分的电子探针能谱分析法研究	邵道乾 赵磊 陈凤贤 (81)
江西阳储岭含钨中酸性杂岩体的成因机理	康景霞 马进德 (86)
甘肃礼县—宕昌一带碱性超基性火山岩中的球状体及成因初探	喻学惠 (97)
华北地台金伯利岩中的橄榄石和石榴石及其源区特征	赵磊 路凤香 (104)
江宁方山、六合瓜埠山玄武岩和岩浆房特征对比及其成因探讨	孙平 路凤香 (113)
中条山北段胡家峪—上玉坡背斜核部酸性侵入体岩石学研究	朱勤文 张海英 叶德隆 孔东军 (121)
四川米仓山西部碱性岩的岩石成因探讨	许继锋 (134)
辽南 50 号金伯利岩体地球化学特征及其含矿性	郑建平 路凤香 叶德隆 (146)
△甘孜—理塘火山岩—蛇绿岩岩石地球化学特征及其成因探讨	叶松 林培英 莫宣学 杨列娜 (156)
江西万安水电枢纽坝基岩层的沉积环境	郭金华 康景霞 (172)
南华北二叠纪河控三角洲沉积体系的沉积构成和沉积演化	周杰 余素玉 管俊芳 (178)
豫西秦岭杂岩中变质岩体链的变质辉长岩的初步研究	陈能松 游振东 钟增球 (187)
大别山榴辉岩带的岩石学研究	张泽明 (197)
冀西北太古宙崇礼群麻粒岩热历史及构造背景	陈强安 王方正 (206)

东秦岭—大别对接造山带变质岩的 地球动力学信息^①

游振东 韩郁菁 桑隆康 钟增球
陈能松 张泽明 周汉文

引 言

地壳大横向位移和大规模消减的巨型断裂带可称“对接消减带”(Convergent crustal consumption zones), 此处简称对接带(王鸿祯, 1986)。在对接带上, 两个相对运动的大陆相互接近, 最后导致碰撞。在对接过程中, 两个大陆边缘不断发展演化, 两大陆之间的大洋壳或过渡地壳可以完全消失, 但对接碰撞过程中所发生的沉积、深埋、变形、变质和岩浆作用等必然记录在造山带内不同的地质体中。

东秦岭—大别造山带是一个长期活动而内部结构极不均一的陆—陆对接碰撞造山带。作者等近年来先后对东秦岭及大别桐柏山区主要前寒武纪变质地体进行了岩石学和构造学的研究, 配合已有同位素年龄资料, 对该造山带各个块段晚前寒武纪时期以来地壳的热演化和地球动力学状况进行了初步的研究, 现将成果综述如下。

一、东秦岭碰撞造山带核部杂岩的 PTt 轨迹

东秦岭造山带核部杂岩, 素称秦岭岩群, 记录了新元古代至加里东—海西阶段华北地台与扬子地台碰撞对接历史。据同位素年代学资料, 其区域变质演化可分为新元古代晋宁构造变质旋回和加里东—海西构造变质旋回(游振东等, 1991)。

秦岭岩群泥质及长英质岩石显微结构研究揭示: 晋宁旋回形成了三个区域变质带, 从北而南: 红柱石—白云母带、矽线石—钾长石带和矽线石—白云母带, 空间上具变质程度中间高两边低的特点。

岩相学观察发现, 各带中蓝晶石均作为残余矿物出现于上述各带之中。

新元古代晋宁构造变质旋回可分两大阶段: 第一阶段以热流集中部位形成蓝晶石—钾长石组合为特征; 第二阶段变质作用的结果是蓝晶石消失, 形成前述三个变质带(红柱石—白云母带, 矽线石—钾长石带和矽线石—白云母带), 三个变质带在空间上构成一不规则的短轴热背斜。

① 国家教委“博士学科点专项科研基金”项目, 编号09220585。

加里东-海西变质旋回,主要表现为炽热花岗岩侵入于秦岭杂岩,形成的热变质岩可以识别出四个阶段的矿物转变:

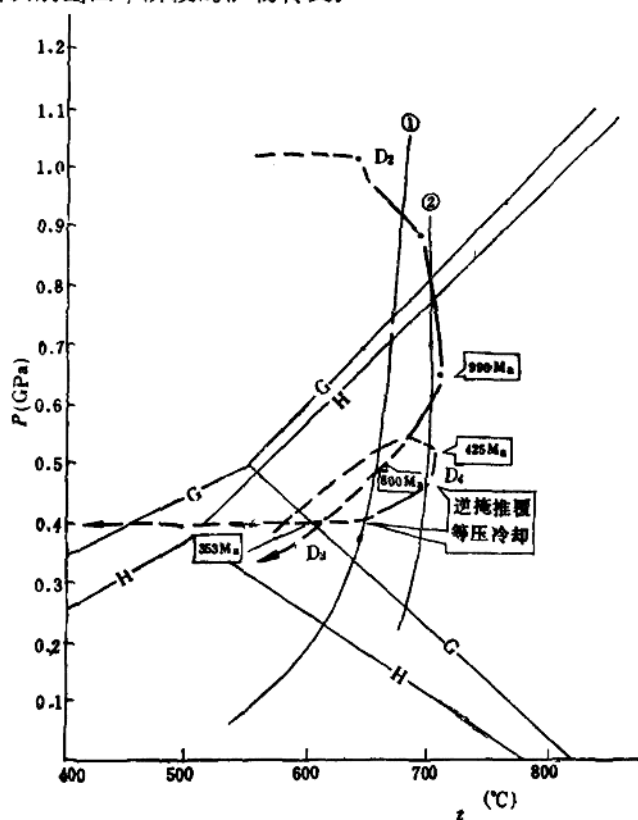


图1 豫西秦岭群的PT-t 轨迹

Al_2SiO_5 相平衡: G(Ganguly, 1973)、H(Holdaway, 1971)

① $St + Q = Al_2SiO_5 + Gt + H_2O$ (Richardson, 1968)

② $Ab + Ms + Q = Kf + Sil + H_2O$

D_1, D_2 : 晋宁期; D_1 : 加里东期

第一阶段: 区域性同位素时钟重新启动, 局部热流集中区新生石榴石生长, 石榴石成分演化表明相应 $PT-t$ 轨迹为降压增温过程, 其初始条件 $t = 542^\circ C$, $P = 0.32 GPa$ 。

第二阶段: 伴随花岗岩体侵位, 石榴石继续生长, $PT-t$ 轨迹为恒压(或略降压)增温过程, $P = 0.53 GPa$, t 由 $674^\circ C$ 升至 $700^\circ C$ 。

第三阶段: 为一降压过程, 表现某些石榴石周围形成单晶斜长石边, 或石榴石被斜长石 + 黑云母 + 矽线石的后成合晶所替代。

第四阶段: 出现蓝晶石与绿泥石的交生体, $t < 500^\circ C$, 压力不低于 $0.4 GPa$, 其 $PT-t$ 轨迹几乎平行于温度轴, 具明显等压冷却的特点。

总之, 秦岭造山带核部杂岩变质作用 $PT-t$ 轨迹的样式和组合, 反映了两大变质旋回截然不同的地球动力学过程(图1)。

二、大山杂岩的变质演化

大别山是秦岭造山带的东延部分。岩石学研究表明, 大别杂岩由变质花岗岩类(主要为英云闪长质和二长花岗质片麻岩)和变质表壳系所组成, 变质表壳岩系为一套由基性大山沉积-酸性火山沉积-陆源碎屑沉积和硅质、碳酸盐质化学沉积所组成的复杂变质建造。同位素年龄为 $24-29 Ma$, 应属新太古代-古元古代, 年代学和原岩建造上可以与华北地台类比。可能是元古宙阶段从华北地台南缘离散出来的一个变质地体, 后来又拼合在一起; 其北侧分布新元古代佛子岭片岩, 南侧为新元古代木兰山张八岭蓝片岩带和早古元古代的大悟-宿松含磷变质岩系(Sang, 1991)。

大别杂岩受后期的强烈再造作用, 其中有大量燕山期花岗岩的侵入, 早期热事件往往不易查明。笔者等在罗田凤凰关黑云角闪斜长片麻岩(英云闪长质)中, 获取淡色清亮自形

锆石单矿物,经北京铀矿研究所 U-Pb 等时线定年,上交点为 796.1 ($2\sigma = +450.0, -281.2$) Ma (王江海, 1991), 该样品诚然误差较大, 但根据我们在大悟陈家河所取含白云二长片麻岩中锆石 U-Pb 年龄测定结果 (如表 1) 及锆石 U-Pb 谐和年龄曲线 (如图 2), 结合最近桑

表 1 大悟陈家河含白云二长片麻岩中锆石 U-Pb 年龄测定结果

样号	铅含量 (10^{-6})	铀含量 (10^{-6})	放射成因铅组成 (%)				同位素原子比		表面年龄值 (Ma)		
			204	206	207	208	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{235}\text{U}}$	$t(\frac{206}{238})$	$t(\frac{207}{235})$	$t(\frac{207}{206})$
DW ₁	104.39	1361.46	0.689	55.581	13.083	30.649	0.2871	0.0389	241.4	252.2	354.1
DW ₂	96.41	1497.82	0.507	63.897	10.936	24.662	0.3123	0.0411	257.6	273.7	412.9
DW ₃	94.67	1408.27	0.497	63.777	10.813	24.915	0.3297	0.0430	269.2	287.3	436.8
DW ₄	86.40	1155.27	0.502	62.311	10.907	26.283	0.3687	0.0465	290.5	316.7	514.0
DW ₅	72.03	612.52	0.655	53.436	12.711	33.200	0.4700	0.0573	354.8	386.8	582.4
年龄	+ 67.6				+ 11.9						
	上交点: 823.8 Ma;				下交点: 200.7 Ma						
	- 63.6				- 7.0						

注: 测定单位: 北京铀矿研究所 (1989); 送样者: 王江海, 黄明华。

隆康 - 等在应山蔡家河地区桐柏杂岩中锅岭寨细粒片麻状花岗岩获得 Rb-Sr 等时线年龄 $983 \pm 39\text{Ma}$ 说明: 在桐柏大别复杂构造带内, 新元古代早期 983—793Ma (相当于四堡-晋宁运动) 热事件是十分活跃的。

凤凰关一带混合岩化作用十分强烈, 其中可以筛分出多次构造变形 (霍普古德等, 1989)。上述锆石的母岩黑云角闪斜长片麻岩代表混合岩中较早期的残留体, 晶形完好的锆石代表主混合岩期生成。笔者认为这一锆石 U-Pb 等时线上交点年龄 796.1Ma 代表大别杂岩受晋宁期区域变质乃至混合岩化的年龄, 其下交点年龄 87.8Ma 则代表燕山期热事件对锆石影响的年龄。

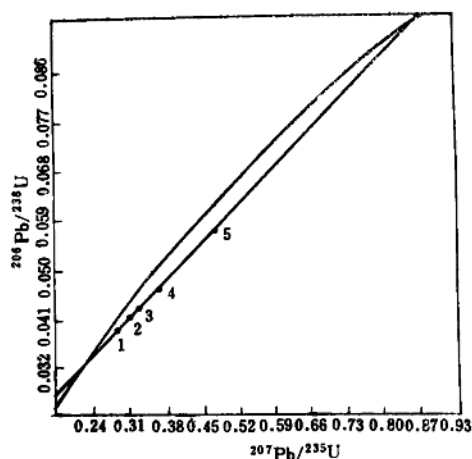


图 2 大悟陈家河含白云二长片麻岩中锆石 U-Pb 谐和曲线

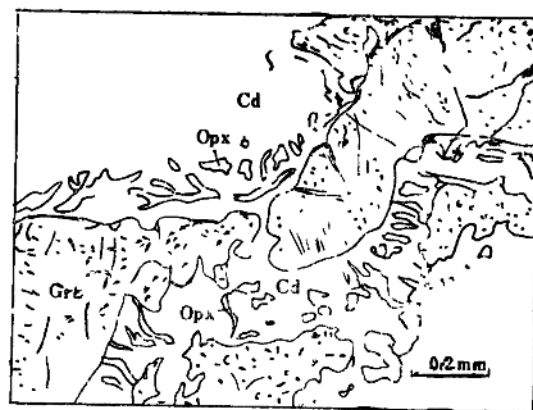


图 3 大别麻粒岩中石榴石 (Grt) 周围斜方辉石 (Opx) (条状) + 堇青石 (Cd) 后成合晶

① 桑隆康等, 1991, 蔡家河幅 1:50000 区调报告。

大别杂岩受到角闪岩相变质作用的改造,局部保留麻粒岩相,晚期有绿片岩相退变质叠加。

罗田黄土岭麻粒岩中存在典型的退变质反应,石榴石通过下列变质反应分解出现堇青石、紫苏辉石冠状体:



堇青石呈等粒状集合体形成冠状体包绕在石榴石周围,在堇青石粒状集合体中斜方辉石呈条状,共同构成后成合晶(图3)。这种结构样式与贝加尔湖 Sharyzhalgay 杂岩中所报导的 Opx-Cd 冠状体完全一致(Harley, S. L., 1989)。

温压计算表明麻粒岩形成的条件是: $t = 750\text{—}900^\circ\text{C}$, $P = 0.89\text{—}1.04\text{ GPa}$, 据堇青石、石榴石(边)温压计计算结果,降压退变质条件平均为 $t = 624^\circ\text{C}$, $P = 0.39\text{ GPa}$ 。

罗田惠兰山、金寨燕子河等地麻粒岩温压计算结果: $t = 756\text{—}940^\circ\text{C}$, $P = 0.8\text{—}1.0\text{ GPa}$ 。

Harley 曾经统计世界 90 个产地麻粒岩的 PT 条件,以大别麻粒岩 PT 条件与之对比,属中高压型,与迁安地区($t = 825^\circ\text{C}$, $P = 1.05\text{ GPa}$) PT 值相似(Zhang 和 Cong, 1981)。与 Bohlen 所提出的麻粒岩区最佳 PT 值(best-fit): $t = 800 \pm 50^\circ\text{C}$, $P = 0.75 \pm 0.1\text{ GPa}$ 相比,大别麻粒岩明显偏高,说明大别麻粒岩与世界各地麻粒岩一样,是了解深部地壳的组成和性质的窗口。同时,麻粒岩中所蕴含的构造过程和化学过程则为探索大陆地壳的增生和稳定化提供信息。

大面积出露于大别杂岩中的角闪岩相基性变质岩石中,常见石榴石周围发育有斜长石反应边或斜长石+绿帘石的后成合晶、石榴石+单斜辉石 $\rightarrow$ 普通角闪石+斜长石反应边,钙质岩石中方柱石分解为方解石+斜长石等,所有这些再平衡现象说明,这些反应是压力降低所驱动。据计算,压力降低幅度从 $P = 0.76\text{—}0.602\text{ GPa}$, $t = 600\text{—}690^\circ\text{C}$ 变为 $P = 0.39\text{—}0.59\text{ GPa}$, $t = 650\text{—}530^\circ\text{C}$ 。

后期绿片岩相退变质反应有:石榴石的绿泥石化,矽线石、蓝晶石等的绢云母化,斜长石的绢云母+绿帘石化,普通角闪石的绿泥石化、阳起石化。降温反应产物为典型绿片岩相矿物组合, $P = 0.3\text{—}0.4\text{ GPa}$, $t = 400\text{—}450^\circ\text{C}$ 。

综上所述,大别杂岩的变质作用过程可分为三个阶段:

第一阶段:早期变质作用由新太古、古元古代区域热流所引起,顶峰达麻粒岩相,晚期受构造控制快速隆起,导致大范围的降压退变质作用,造成麻粒岩相岩石中的石榴石减压分解。在浠水蔡家大湾出现的蓝晶石铝直闪石片岩中,蓝晶石变晶周围的十字石堇青石冠状体也反映了这一降压过程。它们的共同特点是压力降低显著而温度差别不大,具近绝热抬升的历史(游振东、周汉文, 1990)。

第二阶段:角闪岩相区域变质作用,形成区内广泛分布的角闪岩相岩石及有关的混合岩化岩石,部分角闪质岩石重熔形成具花岗闪长质和英云闪长质岩浆外貌的岩石(凤凰关),其中规模较大的可呈底辟侵位。

第三阶段:绿片岩相区域退变质作用,多见于大型断裂带附近,以形成阳起石、绿泥石等含水矿物组合为特征,以显著降温、水化作用为主。

三、关于蓝片岩和榴辉岩：对接碰撞带典型岩石

华北地台与扬子地台对接碰撞期间形成的强应变带内发育蓝闪绿片岩类(广义蓝片岩),它们是低温高压变质产物,产出于新元古代变质岩系的不同层位,主要有四种类型:①基性变质岩型;②酸性火山变质岩型;③泥质、泥砂质沉积变质岩型;④碳酸盐质变质岩型。这些岩石类型在岩石化学上以高的 Na_2O 含量、高的 $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{FeO}$ 比值为特征。在矿物组合上,泥质变质岩系中不出现黑云母,而出现黑硬绿泥石;蓝闪石类矿物以青铝闪石、镁钠闪石类占优势;白云母多为多硅白云母质;斜长石毫无例外为高钠型钠长石(An_{0-5}),此外在一些含锰岩石中可见红帘石。

蓝闪石类矿物最引人注目的特征是成分环带发育,矿物成分上从中心到边缘:①青铝闪石→蓝透闪石→阳起石;②钠闪石→镁钠闪石→阳起石;③青铝闪石→钠闪石;化学成分上从中心到边缘 Na_2O 含量降低, CaO 含量升高。这些特征说明,高压变质过程中温度有上升趋势。据不完全统计,黄陂地区蓝闪石类 MnO 含量显著高于郧县地区,而应山大理岩中蓝闪石类属镁钠闪石,说明蓝闪石类矿物化学成分明显受控于母岩成分。

其他如石榴石、红帘石和黑硬绿泥石中也发现成分环带的存在。

根据钠质角闪石 Al_2O_3 含量与变质作用压力类型图解(丸山茂德,1986),推断本区蓝闪绿片岩相压力变化于0.4—0.5 GPa,与新西兰型相当。个别蓝闪绿片岩温压测定的结果可达 $P = 0.76 \text{ GPa}$, $t = 440^\circ\text{C}$ 。

温压资料、矿物成分的演化特征,说明蓝片岩带温压条件变化以降压而略有升温为特征,反映出高压岩石在构造弛豫以后,热效应使之向绿片岩相转化,在地球动力学上,显然与碰撞后的抬升过程有关。

榴辉岩是对接碰撞带上发育的另一类高压超高压岩石,其分布从桐柏山南麓的杏仁山,经宣化店,河南新县东越麻城团风断裂进入大别山罗田、英山、岳西、霍山等地,再向东越过郧庐断裂,出现于苏北胶南。在山东荣登地区甚至刘公岛上均有榴辉岩分布。东西绵延达1200 km,其规模为世界所少有。它们在地质上有如下共同的特征:

(1) 榴辉岩对围岩无选择性。榴辉岩产出的围岩有片麻岩、花岗岩、基性岩和超基性岩等,不同围岩均可有榴辉岩或其退变质产物;

(2) 榴辉岩体呈大小不等、形状不一的块体出现。在规模上大者长达数百米,小者仅十几厘米;常见透镜状、团块状、条带状、似层状出现于各类围岩中,有时呈密集小团块见于片麻岩中;

(3) 围岩的变质相与榴辉岩相相差甚远,在苏北胶南它可产出于胶南群角闪岩相地层中,在大别山区则见于大别山群角闪岩相,越过团麻断裂则与绿帘角闪岩相的红安群片麻岩相伴生。围岩中保留高压超高压变质迹象罕见。榴辉岩与其周围岩石是否同期变质有待查证,不过,榴辉岩与围岩可以一起受到后期的退变质改造和变形,在塑性变形中榴辉岩具明显的高强干性。

据张泽明^①,榴辉岩岩石类型有:蓝闪石榴辉岩、蓝晶石榴辉岩、柯石英榴辉岩和普通

^① 张泽明, 1990, 中国地质大学(武汉)硕士论文。

榴辉岩等。柯石英榴辉岩和蓝晶石榴辉岩多见于安徽大别山区和苏北胶南,蓝闪石榴辉岩多见于湖北团麻断裂以西,苏北一带也有蓝闪石榴辉岩的报导。

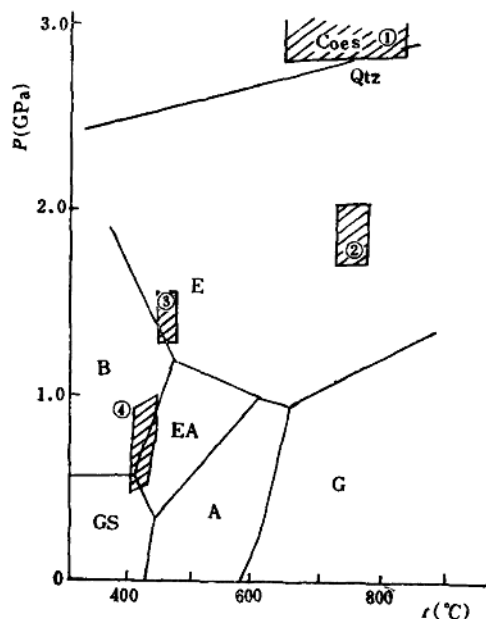


图4 高压、超高压岩石温压测定范围

①柯石英榴辉岩;②蓝晶石榴辉岩;③蓝闪石榴辉岩;④蓝闪绿片岩。矿物代号: Coes: 柯石英; Qtz: 石英。变质相: E: 榴辉岩相; B: 蓝片岩相; GS: 绿片岩相; EA: 绿帘角闪岩相; A: 角闪岩相; G: 麻粒岩相

退变质作用的 PT 演化如图4所示。

榴辉岩中石榴石主要是铁铝榴石(25—67%)、镁铝榴石(5—33%)和钙铝榴石(17—44%)组成的固溶体。绝大多数单斜辉石为绿辉石(硬玉24—25%,霓石0—1.4%,普通辉石44—68%),少数为钠质普通辉石,单斜辉石中钙切马尔马克分子含量很低(0—10%)。

不同类型榴辉岩形成的温压条件各异: 蓝闪榴辉岩 $P = 1.2—1.5 \text{ GPa}$, $t = 420—490^\circ\text{C}$; 蓝晶石榴辉岩 $P = 1.6—1.9 \text{ GPa}$, $t = 760—780^\circ\text{C}$; 柯石英榴辉岩压力较高, $P > 2.7 \text{ GPa}$, $t = 620—840^\circ\text{C}$ ①。最近在安徽发现含金刚石榴辉岩(徐树桐, 1992)。

榴辉岩形成后,经历不同程度的退变质,主要表现为高压矿物显著降压退变质反应: 绿辉石被钠长石和角闪石或透辉石和钠长石后成合晶所代替(江苏东海),石榴石被普通角闪石和斜长石集合体所替代,柯石英变为多晶石英集合体,蓝闪石变为冻蓝闪石。以蓝闪榴辉岩退变质产物计算其变质条件: $P = 0.5—0.7 \text{ GPa}$, $t = 420—490^\circ\text{C}$ 。榴辉岩变质、

四、讨 论

(1) 秦岭—大别造山带内高压超高压岩石的年代一直存在争议。一派说高压岩石形成于新元古代(张树业, 1990; 荆延仁, 1991), 而另一派力主其为中生代(李曙光, 1991; Xu, 1992)。国外,如阿拉斯加,固然也有中生代蓝片岩叠加于前寒武纪地层的报导(Armsstrong, 1986),但那里在泥盆系中找到区域性蓝片岩。事实上现今东秦岭—大别造山带上所有蓝片岩、榴辉岩均产于灯影峡期以前的地层中,蓝闪石的生成也有多期性,且与强应变带关系密切。我们认为新元古代华北和扬子两大块体大陆边缘的构造发展对于秦岭—大别造山带高压、超高压变质岩的生成起着决定性的作用,但显生宙以后的构造作用,对于早期生成的高压岩石,必然显示某种再造作用,包括它们的抬升变形和热事件。

(2) 如果把秦岭杂岩变质高峰期 990 Ma 与张八岭群形成年龄 1026 Ma(荆延仁, 1991)以及本文所获罗田英云闪长质片麻岩年龄 796.1 Ma 联系起来考虑,不难看出东秦岭—大别造山带上四堡—晋宁期构造热事件的影响是广泛的,在深部表现为角闪岩相的区域变质和混合岩化(大别群),在中地壳表现花岗岩体侵位及低角闪岩相、绿帘角闪岩变质

(桐柏群、红安群)。

晋宁运动期间东秦岭古海域闭合。当华北地台与秦岭古岛弧拼合时,在南秦岭出现了拉张的前渊拗陷,其中可能包括现今部分红安群碎屑沉积和原划分为磨盘寨、塔尔岗组的火山沉积地层,在随枣地区则为随县群。大别地体从 800Ma 以前至今发展演化的基本模式如图 5 所示。

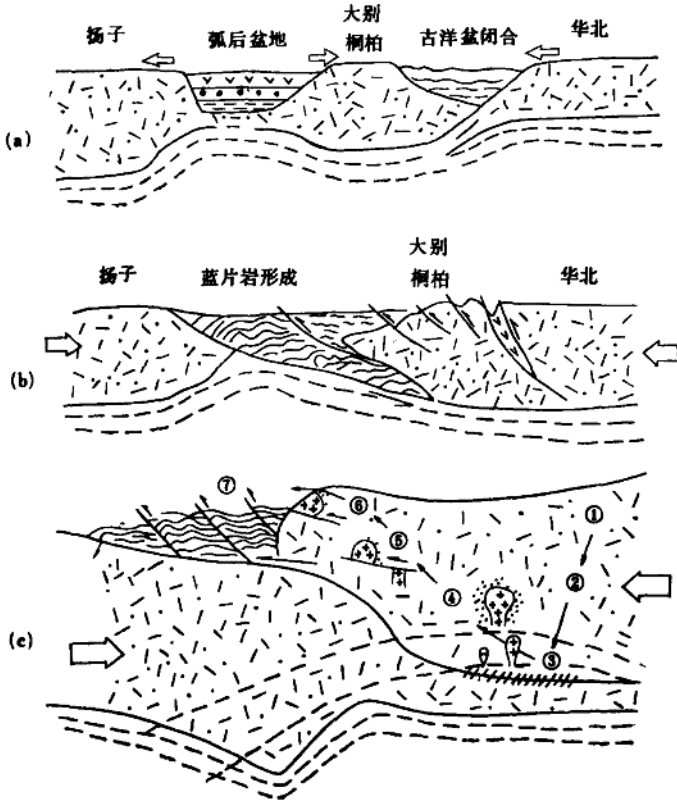


图 5 东秦岭大别造山带构造演化模式

(a)大别杂岩作为华北地台南缘增生地体,从北向南向扬子板块俯冲,在大别桐柏岛链前方拉张出现弧后盆地(>800Ma);(b)地壳缩短,大别桐柏杂岩(结晶造山带)内发育剪切带阵列,上部造成山脉地形,弧后盆地沉积物变质变形,蓝片岩榴辉岩形成(大约800Ma);(c)对接造山带动力学模型:①②代表原始大别山群的沉积深埋和前进变质;③高峰期变质(麻粒岩-角闪岩相),虚线代表等温面因热岩片逆冲而上升;④当温度达700℃±时,地壳部分熔融产生花岗岩浆并侵位,花岗岩体周围有接触晕(据花岗岩学和年龄可以求出地体隆升的P-t(压力-时间)轨迹;⑤⑥花岗岩体和变质岩中因后期抬升而冷却并发生断裂;⑦结晶岩块的侵蚀,在前陆盆地堆积后造山沉积物(K-R)

(3) 关于榴辉岩形成深度。Schreyer(1985)根据榴辉岩中柯石英包裹物的出现,推论这是一种因俯冲深度达 90 km 以上的超高压变质岩。东秦岭-大别造山带不同类型榴辉岩压力大小相差甚远(从>2.7—1.2GPa),这固然可能说明从西到东俯冲深度不同,但当我们采用柯石英→石英多形转变作为压力标志时,不能不考虑在对接碰撞过程中榴辉岩

中的石英不可能不受强烈的变形,而变形所储存的应变能会提高受到塑性变形了的多形变体的自由能,石英也是如此。Hobbs 和 Green 都先后在实验中,在低于石英 $\rightleftharpoons$ 柯石英转变实验的静水压力值之下出现柯石英,Hobbs 报导 $t = 400-950^{\circ}\text{C}$, $P = 1.0-1.5 \text{ GPa}$ 条件下在高应变的天然石英和人工石英中都出现柯石英(Hobbs, 1968; Green, 1972)。因此东秦岭-大别造山带东段的柯石英榴辉岩有可能形成于 40 km 左右,即地壳与地幔的界面附近,而后经过多次的构造运动整体抬升,或岩浆载体向上部地壳运移。

论文准备过程中,曾与杨巍然、索书田教授等作过有益的讨论,谨此致谢。

主 要 参 考 文 献

- 陈能松, 1990, 豫西蛇尾秦岭群 PT 轨迹定量计算及其地质意义, 地球科学, 第 15 卷, 第 2 期, 145—155 页。
- 荆延仁、梁万通、张树业、张良田, 1991, 安徽前寒武纪高压变质带, 地质出版社, 37—40 页。
- 李曙光等, 1991, 秦岭-大别造山带主要构造事件同位素年表及其意义, 见叶连俊等主编:《秦岭造山带学术讨论会论文集选集》, 西北大学出版社, 229—237 页。
- 王鸿祯、杨巍然、刘本培, 1986, 华南地区古大陆边缘构造史, 武汉地质学院出版社。
- 游振东等, 1991, 秦岭造山带核部变质杂岩的基本特征与东秦岭大陆地壳的构成, 见叶连俊等主编:《秦岭造山带学术讨论会论文集选集》, 西北大学出版社, 1—14 页。
- 游振东、周汉文、吕学森, 1990, 湖北稀水蓝晶石铝直闪石片岩中冠状体结构的研究, 地球科学, 第 15 卷, 第 4 期, 345—356 页。
- 周高志等, 1990, 鄂北蓝片岩带变质作用及其成因探讨, 见刘国惠、张寿广:《秦岭大巴山地质论文集(一) 变质地质》, 北京科学技术出版社。
- 张树业等, 1990, 华中高压变质带变质作用及其成因, 见刘国惠、张寿广:《秦岭大巴山地质论文集(一) 变质地质》, 北京科学技术出版社。
- 霍普古德, A.M., 鲍思, D., 游振东等, 1989, 湖北省凤凰关地区前寒武纪大别杂岩内构造要素及相互关系, 地球科学, 第 14 卷, 第 8 期。
- Armstrong, R. L. *et al.*, 1986, Rb-Sr and K-Ar study of metamorphic rocks of the Seaward Peninsula and southern Brooks Range, Alaska, Geol. Soc. of Am., Memoir 164 "Blueschists and eclogites" (eds. Evans B.W., Brown E.H.), 185—204.
- Green, H. W., 1972, Metastable growth of coesite in highly strained quartz, J. Geophysical Research, 77, 2478—2482.
- Harley, S.L., 1989, The origins of granulites: a metamorphic perspective, Geological magazine, 12, 3, 215—247.
- Hobbs, B.E., 1968, Recrystallization of single crystals of Quartz, Tectonophysics, 6, 353—401.
- Sang Longkang, 1991, The petrochemistry of the lower Proterozoic metamorphic rocks from the Dabieshan-Lianyungang area, the south-eastern margin of the North China platform, Mineralogical Magazine, June 1991, 55, 263—276.
- Xu Shutong *et al.*, 1992, Diamonds from high pressure metamorphic rocks in Eastern Dabie mountain, Chinese science bulletin, 37, 2, Jan. 1992, 140—145.

THE GEODYNAMIC INFORMATION FROM METAMORPHIC ROCKS IN THE EAST QINLING-DABIESHAN OROGENIC BELT

You Zhendong Han Yujing San Longkang

Zhong Zenqui Chen Nengsong

Zhang Zheming Zhou Hanwen

Abstract

The East Qinling-Dabieshan convergent orogenic belt is a linear defect stretching between the North China platform and the Yangzi platform. The PTt for the core complex of the Qinling orogenic belt displays two-stage clock-wise pattern. The PT trajectory for Dabie complex has a nearly isothermal decompression (ITD) pattern. All these reflect the geodynamic processes of convergence and collision, uplift and exhumation of the orogenic belt. The major petrographical characteristics of the blueschists and eclogites are given from which the information about metamorphic processes and geodynamic models are obtained.

Key words: orogenic belt, metamorphic processes, geodynamics Precambrian, PTt path

秦巴碱性岩的分布、来源及构造环境[†]

邱家骧 李昌年

秦岭—大巴山地区(简称秦巴地区)是我国中部的著名造山带,它不仅是南北地质的重要界线,也是东西地质的交汇部位,它以地质构造复杂、岩浆活动强烈为特征。区内碱性岩研究很少,现将其分布、来源、构造环境简介于下。

一、碱性岩的类型与分布

本区碱性岩多属中深成一超浅成相,产状为环状杂岩、岩株、岩床、岩墙、岩枝。它们均为碱性—过碱性岩类,从超基性—酸性者皆有。这些碱性岩以硅酸岩类为主,碳酸岩类较少。硅酸岩类以霓霞岩、碱性辉长岩、碱性正长岩、霞石正长岩、碱性花岗岩类常见,尤以碱性正长岩及霞石正长岩类最多。碳酸岩类以方解石质为主,白云石质较少。碱性岩中,凡属超基性—基性者,多为钠质岩类;凡属中—酸性者,多为钾质岩类。

这些碱性岩集中产出于秦巴褶皱带与华北地台及扬子地台的交界处及其边缘。近东西向呈南北两条碱性岩带分布,其中北带又分为两个碱性岩亚带。在南北岩带上分别分布四个碱性岩区,共八个岩区。不同岩带、岩区(部分岩体)的分布及碱性岩的主要组合如图1、表1所示。

从碱性岩的分布可以看到以下规律:

(1) 碱性岩主要分布于褶皱带与南北二地台接合部位的附近。南碱性岩带地跨扬子地台及秦巴褶皱带,与扬子地台同秦巴褶皱带二构造单元现今的分界线不完全一致。北碱性岩带与南带大致平行,它位于华北地台的南缘,也并不全与两个构造单元的分界线一致。但它们也有共同特点,即二者均为近东西向平行分布的碱性岩带。

(2) 南带碱性岩以霞石正长岩类为主,并有不少霓霞岩、碳酸岩、碱性辉长岩、碱性正长岩类产出;北带碱性岩以正长岩类为主,并常见碱性石英正长岩,而碳酸岩类、霞石正长岩类较少。从平均成分比较,南带酸度($\text{SiO}_2 \approx 56\%$)较北带酸度($\text{SiO}_2 \approx 61\%$)小;而碱度($\sigma \approx 11$)较北带碱度($\sigma \approx 9$)大。南带碱性岩浆的演化趋势以肯尼迪趋势及跨越趋势为主;而北带碱性岩浆的演化趋势则以库姆斯趋势为主。

(3) 不同碱性岩带中碱性岩酸度变化不同:南带 SiO_2 平均值从西向东酸度变大,从 45.37% (I区) $\rightarrow 54.80\%$ (II区) $\rightarrow 55.11\%$ (III区) $\rightarrow 63.88\%$ (IV区)。而北带碱性岩则东西两端酸度小,中部酸度大。如北带的南亚带,从东到西 SiO_2 的平均值从 59.05% (VI区) $\rightarrow 67.34\%$ (V区);北亚带从西到东的 SiO_2 平均值从 52.35% (VII区) $\rightarrow 62.72\%$ (VIII区),南北

[†] 本文为地矿部“七五”重点项目“秦巴地区重大基础地质问题和主要矿产成矿规律研究”的下属亚二级课题“秦巴地区碱性岩地质特征及含矿性研究”的一部分,作者在完成该报告第八章基础上,进一步撰写成此文。

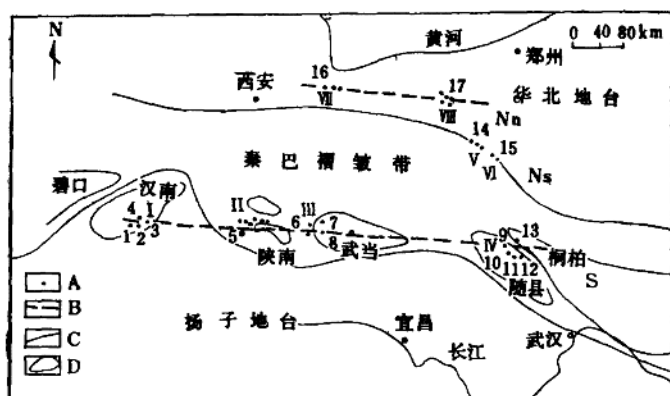


图1 秦巴碱性岩分布示意图

S: 南带; N: 北带; Ns: 北带南亚带; Nn: 北带北亚带; A: 碱性岩分布位置; B: 碱性岩带; C: 一级构造分界线; D: 老地块范围及名称; I: 米苍山岩区; 1. 中子园岩体, 2. 水磨岩体, 3. 坪河岩体, 4. 李家河岩体; II: 平利—紫阳岩区; 5. 平利—紫阳岩床群; III: 竹山—竹溪岩区; 6. 关堰子岩体, 7. 庙堰岩体; 8. 杀熊洞岩体; IV: 随枣—桐柏岩区; 9. 石沟岩体, 10. 观子山岩体, 11. 响坡岩体, 12. 花山寨岩体, 13. 松扒岩体; V: 云阳岩区; 14. 维摩寺—草庙岩体群; VI: 方城岩区; 15. 双山—宋坟岩体群; VII: 华阳川岩区; 16. 华阳川—洛南岩体岩脉群; VIII: 嵩县岩区; 17. 纸房—黄庄岩体群

表1 秦巴碱性岩的岩带、岩区及岩石组合

岩带名称	岩 区		省、县、市名称	主要岩石组合
	序 号	名 称		
南 带	I	米苍山	四川省南江县、旺苍县	钛铁霞辉岩—磷霞岩—碱性辉长岩—霞石正长岩—磷酸岩
	II	平利—紫阳	陕西省平利县、紫阳县	碱性辉长岩—辉长岩—正长岩—碱性石英正长岩
	III	竹山—竹溪	湖北省竹山县、竹溪县	碱性辉石角闪岩—霞石正长岩—碳酸岩
	IV	随枣—桐柏	湖北省随州市、枣阳县, 河南省桐柏县	霞石正长岩—正长岩—碱性石英正长岩
北 带	南亚带	V	云阳	正长岩—石英正长岩—碱长花岗岩
		VI	方城	霞石正长岩—碱性正长岩—正长岩
	北亚带	VII	华阳川	碳酸岩—碱性正长岩—正长岩
		VIII	嵩县	碱性正长岩—正长岩

两亚带联系起来看, 北带以两端酸度 ($\text{SiO}_2 = 59.05\text{—}52.35\%$) 小于中部的酸度 ($\text{SiO}_2 = 62.72\text{—}67.34\%$) 为特征, 与南带的酸度变化规律不同。

二、岩体侵位及后期热事件的年龄

本区碱性岩由于缺少同位素年龄, 或仅根据为数很少的 K-Ar 年龄, 因此有关碱性岩

的侵入时代,不仅争论很大,而且年龄误差也大。

通过一批同位素年龄测定与地质结合分析表明,本区碱性岩主要有三期侵位,并遭受过后期两次较大热事件的干扰。侵位年龄是据较新鲜岩石的 Rb-Sr 等时线法、U-Pb 法、K-Ar 法(个别等时线法)的年龄确定的;而后期热事件年龄则根据受过区域变质、热液蚀变等岩石的 K-Ar 法年龄确定的。侵位年龄比后期热事件年龄约早 23—304Ma。

本区碱性岩的不同岩带、岩区及岩体的侵位年龄及热事件年龄如表 2 所列。表中的地质年代及构造岩浆期、阶段的年龄划分据地矿部“地直发[1989]058 号”文件。

表 2 秦巴碱性岩的侵位、后期热事件年龄及时代

岩带		岩 区		岩浆侵位年龄及时代					后期热事件年龄及时代			
		序号	名称	年龄 (Ma)	测定方法	所测岩石、矿物	纪	期	年龄 (Ma)	测定方法	所测岩石 矿物	纪
南带	I	米苍山	687	Rb-Sr	钛铁霞辉岩、霓霞岩、 磷霞岩、霞石正长岩、 碱性正长岩、碳酸岩 (6个)	震旦纪	新元古	406	K-Ar	钾长石	泥盆纪	
								383	K-Ar	花岗岩		
	II	平利— 紫阳	355*	Rb-Sr	辉长岩(8个)	石炭纪	华力西	197	K-Ar	正长岩	侏罗纪	
			261*	Rb-Sr	正长岩(7个)	二叠纪		145	K-Ar	正长岩		
			260	K-Ar 等时线	黑云母、钾长石(4个)			141	K-Ar	粗面斑岩		
	III	竹山— 竹溪①	503	Rb-Sr	碳酸岩、黑云母、 磷灰石(8个)	石炭纪	华力西	/	/	/	/	
			278	K-Ar	黑云母(碳酸岩中)	二叠纪						
			255	U-Pb	铀石(正长岩中)							
			251	K-Ar	微斜长石(正长岩中)							
	IV	随枣②— 桐柏	306 (观音山)	Rb-Sr	硬玉霞石正长岩(5个)	石炭纪	华力西	/	/	/	/	
			215 (花山寨)	Rb-Sr	英碱正长岩(5个)	三叠纪						印支
			214 (松扒)	K-Ar	霓辉正长岩							
北带	V	云阳③	338	U-Pb	石英正长岩	石炭纪	华力西	189	K-Ar	碱长花 岗斑岩	侏罗纪	
												VI
	VII	华阳川	206	K-Ar	长石(碳酸岩脉中)	三叠纪	印支	181	K-Ar	金云母 (碳酸岩 脉中)	侏罗纪	
			204	K-Ar	碳酸岩							
	VIII	嵩县	226	Rb-Sr	霓辉正长岩(7个)	三叠纪	印支	/	/	/	/	
			242 212	K-Ar K-Ar	霓辉正长岩 霓辉正长岩							

注: ①黄月华(1989); ②李石等(1988); ③据河南省地矿局资料, 云阳岩体在三川被712Ma的辉长岩侵入, 则其侵入时代应在712Ma之前, 有待证实。

1. 侵位年龄

从老到新顺序为以下三期:

(i) 新元古期的震旦纪(786—687Ma): 此期北带方城岩区侵位较早(786Ma), 南带米

苍山岩区较晚(687Ma)。此期的碱性岩浆活动最早,其分布也最少,并以分布于南北带两端为特征。

(2) 华力西期的石炭—二叠纪(355—251Ma): 此期碱性岩最发育,尤以南带中东段为典型,多为华力西期侵位的碱性岩,年龄变化范围也较大;而北带仅见于云阳区,年龄为338Ma。

(3) 印支期的三叠纪(242—205Ma): 此期碱性岩分布介于新元古及华力西期之间。南带的东段部分岩体,侵位年龄较集中(215—214Ma),也较少(仅见于随枣—桐柏的部分岩体);北带的北亚带岩体,侵位年龄跨度大(242—205Ma),而且分布广(华阳川及嵩县岩区均属此期)。

2. 热事件年龄

从老到新主要有以下两期:

(1) 华力西期的泥盆纪(406—383Ma): 仅有米苍山震旦纪碱性岩遭受此期热事件,故影响范围小,限于西部个别岩体。

(2) 燕山期的侏罗纪(197—141Ma): 使华力西期及印支期侵入的碱性岩遭受本期热事件,影响遍及中—东部广大岩体,范围较大。

通过上述本区碱性岩同位素年代学资料的分析,不难看出:

(1) 本区碱性岩的侵入时代南北带顺序相反。南带从西向东不同岩区的年龄平均值变化是: I区(687Ma)→II区(292Ma)→III区(272Ma)→IV区(254Ma),即从西向东依次变新;而北带从东向西不同岩区的年龄平均值变化是: VI区(786Ma)→V区(338Ma)→VII区(277Ma)→VIII区(205Ma),即从东向西依次变新,它与南带侵入年龄的变化规律正好相反。在北带中,从南亚带(786—338Ma)→北亚带(227—205Ma)也是年龄变新。南带活动年龄范围(433Ma)较北带(581Ma)短。

(2) 本区碱性岩侵入时代主要为三期: 它们分别为新元古期、华力西期、印支期。其中新元古期活动范围最小,是开始阶段,限于南、北碱性岩带的西、东两端。华力西期为碱性岩浆活动的高潮阶段,在秦巴褶皱带的南缘及其北部与华北地台交界处的主体部分均为此期产物。印支期碱性岩浆活动范围变小,见于本区碱性岩的最东端及华北地台之南缘。

(3) 本区碱性岩侵位后,又遭受两期主要的热事件的干扰,使封闭年龄温度较低的K-Ar法所测定的年龄值比实际年龄低23—304Ma。从两次热事件时代与分布来看,本区热事件主要与华力西期及燕山期造山活动,尤其花岗岩侵入有关。本区华力西期的花岗岩侵入主要见于本区西部,故米苍山区碱性岩遭受华力西期的热事件影响较强烈;而其他地区则主要为燕山期花岗岩侵入,因而遭受燕山期的热事件的冲击。

三、岩浆的物质来源

岩浆岩中地球化学资料及其中某些矿物成分,常是岩浆物质来源的指示剂。分述主要者如下:

1. Sr I—t 图

由 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 初始值(Sr I)与侵位年龄(t)关系图(图2)可以确定碱性岩浆的物质来源