

文章编号: 1000- 6524 (2002) 02- 0151- 11

黄陵花岗岩基的成因

马大铨, 杜绍华, 肖志发

(中国地质调查局 花岗岩地质研究室, 湖北 宜昌 443003)

摘要: 黄陵花岗岩基位于扬子地台北缘, 它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“秦岭洋”壳向南俯冲导致的大陆边缘造山运动过程中。黄陵花岗岩基可解体为三斗坪、黄陵庙、大老岭、晓峰 4 个岩套和 14 个单元, 侵位于 832~750 Ma 之间。三斗坪和黄陵庙两个岩套主要由英云闪长岩、奥长花岗岩、花岗闪长岩组成, 是在近南北向区域挤压下于约 16 km 深部塑性域定位的同构造花岗岩, 前者主要依靠岩浆在构造弱面逐次强力楔入创造定位空间, 后者主要在处于活动状态的韧性拉张剪切带内定位。钙碱性系列的大老岭和晓峰岩套则是在本区地壳迅速隆起过程中分别在 5 km 和 < 1.5 km 深度的脆性域定位的构造晚期花岗岩。根据岩石化学和同位素组成推断, 三斗坪岩套的源岩主要是晚太古代大陆拉斑玄武岩, 母岩浆相当于英安质, 岩套内的成分变化主要受角闪石分离结晶作用控制; 黄陵庙岩套除受分离结晶作用影响外, 成分变化主要与英安质母岩浆和某种长英质岩浆的混合有关; 大老岭岩套的源岩亦为早前寒武纪火山岩。

关键词: 黄陵; 花岗岩; 岩基; 单元-岩套; 定位机制; 成因; 大地构造背景; 源岩

中图分类号: P588.12⁺1; P581

文献标识码: A

The origin of Huangling granite batholith

MA Da-quan, DU Shao-hua and XIAO zhi-fa

(Research Department of Granitoid Geology, CGS, Yichang 443003, China)

Abstract: Huangling granite batholith, along with Hannan and Liyuzhai granite batholith, constructs a low-K granite belt in the northern periphery of Yangtze Platform. It is disintegrated into Sandouping, Huanglingmiao, Dalaoling and Xiaofeng suites, comprising 14 units, whose emplacement ages are between 832 and 750 Ma. Sandouping and Huanglingmiao suites consist mainly of tonalite, trondjemite and granodolerite, being syntectonic granitoids emplaced at the ductile domain 16 km deep under the action of SN-striking regional compression. Dalaoling and Xiaofeng suites, belonging to calc-alkaline series, are late-tectonic granitoids emplaced at the brittle domain (5 and < 1.5 km in depth respectively) formed during rapid uplift of the crust. Based on major and trace elements and isotope geochemical data, it is inferred that Sandouping suite is formed by magma melting of Late Archeozoic continent tholeiite source,

收稿日期: 2001- 11- 24; 修订日期: 2002- 03- 12

作者简介: 马大铨(1940-), 男, 研究员, 长期从事花岗岩岩石学研究。

and its geochemical variation is controlled by hornblende fractional crystallization. Besides fractional crystallization, the geochemical variation of Huanglingmiao suite is related to the mixing between dacitic magma and felsic magma. Dalaoling suite is probably derived from early Precambrian volcanics.

Key words: Huangling; granite; batholith; unit- suite; emplacement model; origin; tectonic setting; source.

1 区域地质背景

黄陵花岗岩基位于扬子地台北缘,面积约 970 km²,是我国晋宁期花岗岩的典型代表,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。黄陵地区为基底加盖层的地台双层结构,地质构造属扬子准地台鄂中褶皱区次一级隆起,习称黄陵背斜,其轴向为 N15°E,南北长约 75 km,东西宽近 40 km。基底出露于背斜的核部,由晚太古代—早元古代的崆岭群中深变质岩系和以黄陵花岗岩基为主的大量侵入体组成。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°,但西翼可陡倾至 40°。核部基底花岗岩中局部有震旦系残留。

2 岩基内岩套、单元划分及其特征

按照岩石谱系单位等级体制划分原则,黄陵岩基可分解为 4 个岩套 14 个单元(表 1)。

表 1 黄陵岩基单元—岩套等级划分简表

Table 1 Classification of Huangling granite batholith unit- suite stratigraphic system

岩套	序号	单元及主要岩性	其他侵入体	侵入关系
晓峰	14	七里峡花岗斑岩、花岗闪长斑岩岩墙群		侵入 8、9 和 11(?)
大老岭	13	马滑沟中细粒含石榴二云二长花岗岩	沙坪、龙潭坪	侵入 4、7、8 和 9
	12	田家坪似斑状角闪黑云二长花岗岩		侵入 11
	11	鼓浆坪不等粒黑云二长花岗岩		侵入 7 和 10(?)
	10	凤凰坪角闪黑云石英二长闪长岩	七里峡一带(未名)	侵入 7
黄陵庙	9	下堡坪淡色似斑状黑云花岗闪长岩		侵入 2、7
	8	蛟龙寺淡色似斑状黑云奥长花岗岩		
	7	乐天溪含角闪石黑云奥长花岗岩	秀水坪、桃园	侵入 4、5
三斗坪	6	小溪口中细粒黑云英云闪长岩		侵入 3、4
	5	堰湾粗粒含角闪石黑云英云闪长岩		侵入 4
	4	西店咀角闪黑云英云闪长岩		侵入 2、3
	3	太平溪中粗粒黑云角闪英云闪长岩		侵入 2
	2	美人沱中细粒石英闪长岩	文昌阁、响铜寨(?)	侵入 1
	1	肖家猪暗色石英辉长岩	三条岭、八座坟	被 2、4 侵入

本文测得黄陵庙岩套下堡坪单元全岩的 Rb/Sr 等时线年龄 808 Ma ± 35 Ma, 大老岭岩套全岩 Rb/Sr 等时线年龄 786 Ma ± 17 Ma, 晓峰岩套全岩 Rb/Sr 等时线年龄 750 Ma ± 57 Ma(图 1), 前人还获得三斗坪岩套锆石 U-Pb 一致曲线法年龄 832 Ma ± 12 Ma(冯定犹等, 1991)、黄陵庙岩套乐天溪单元锆石 U-Pb 一致曲线法年龄 819 Ma ± 7 Ma(马国干等,

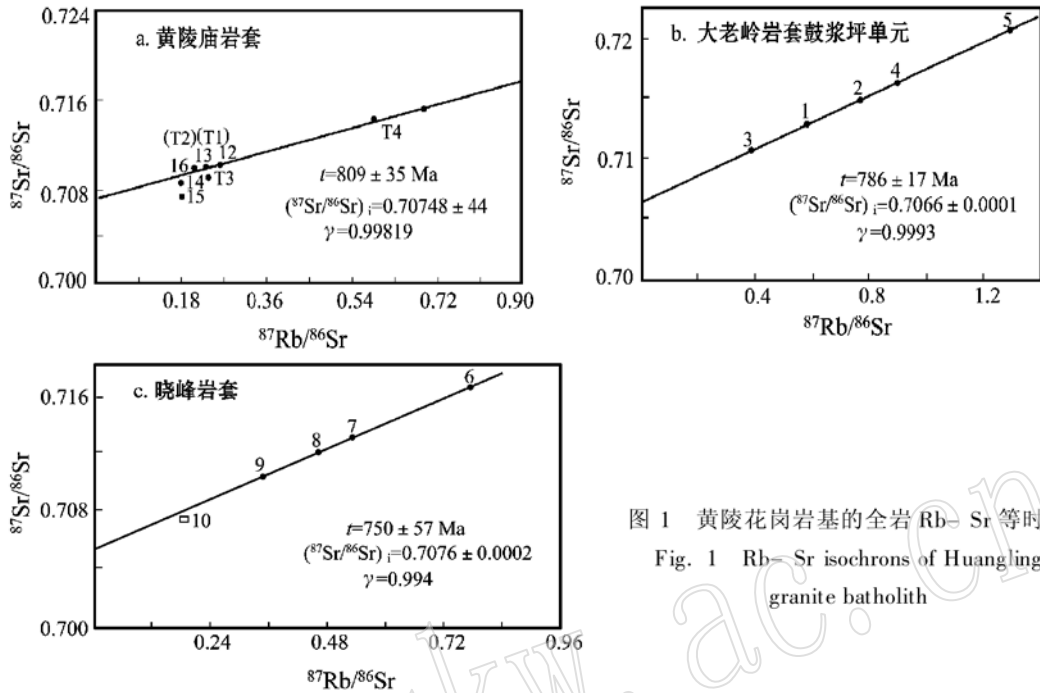


图 1 黄陵花岗岩基的全岩 Rb-Sr 等时线
Fig. 1 Rb-Sr isochrons of Huangling granite batholith

1984), 这些数据与野外地质事实相一致。尽管晓峰岩套 750 Ma ± 57 Ma 是一个不太令人满意的年龄, 但它仍是有意义, 显示大老岭岩套之后, 还有一次浅成至超浅成的侵入活动, 其年龄可能介于 750 Ma 至 786 Ma 间。

3 岩基的定位机制

因震旦系沉积覆盖, 黄陵岩基多数侵入体出露不全。因此, 对其定位机制还只能是一些框架性认识, 并且以工作较多的三斗坪和黄陵庙两复式岩体为主。

3.1 三斗坪岩体

在构造上, 三斗坪岩体有 3 个特点: 一是各侵入体均为近南北走向的单斜透镜体, 且内部叶理、同源包体与之同向, 并随侵入体边界弯曲而变动; 二是先侵入的单元(美人沱、太平溪、西店咀)明显向西突出, 东界则较为平直; 三是除堰湾侵入体出露不全(被黄陵庙岩体侵入)外, 自西向东(由早而晚)的美人沱、太平溪和西店咀侵入体规模越来越大。

根据角闪石地压计估算, 三斗坪岩体定位深度约为 16 km, 围岩具有塑性流变特征。在西店咀侵入体内部有一条连续分布长达 4 km 的近南北向片岩岩屏(片理走向 NW 350°), 太平溪侵入体东部也见不少片岩捕虏体, 只是规模较小, 说明三斗坪岩体侵位之前, 该处存在近南北向的片理面, 与区域最大张力方向大体垂直, 从而形成构造弱面, 控制了侵入体的展布方向。不论是先遣侵入的美人沱单元, 还是随后相继侵入的太平溪、西店咀单元, 都较好地反映了这种机制, 只是因早期侵入体使围岩受热而降低了抗张强度, 后期侵入体沿弱面向南向北延伸更长, 向东向西扩张更宽。但晚期的侵入体, 因岩浆房几近枯竭、通道关闭, 故规模较小且分散, 最后依次侵入的堰湾单元和小溪口单元即是例证。

总之,三斗坪岩套是在特定条件(先成弱面,近南北向压力派生的东西向张力和深部塑性域)下,主要依靠岩浆流体压力连续强力楔入围岩的同构造复式岩体(图 2)。上述定位模式不含肖家猪单元,其叶理不明显,而且具明显的堆积结构,说明其固结时间明显早于后续单元,甚至可能是后续单元从深部带来的堆积岩碎块。

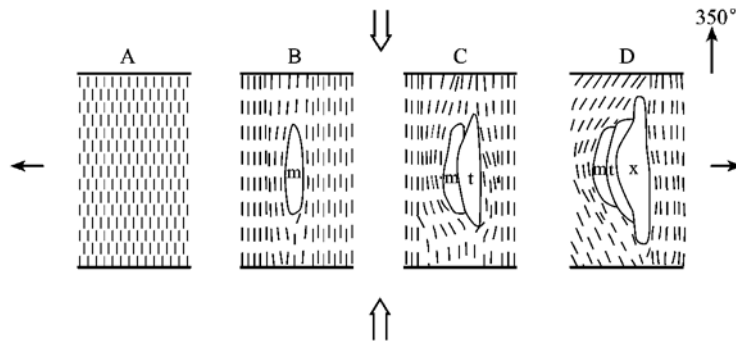


图 2 三斗坪岩套定位模式

Fig. 2 Emplacement model of Sandouping suite

A—先存近南北向片理在同方向的压力下成为弱面; B—岩浆流体压力超过围岩抗张强度,沿弱面侵入,形成南北向透镜状的美人沱侵入体(m); C—围岩抗张强度因预热而降低,较多的岩浆得以侵入形成太平溪侵入体(t),并因西侧岩石的韧性差而向西膨胀,使美人沱侵入体弯曲; D—更多的岩浆侵入形成西店咀侵入体(x),并继续向西膨胀,使美人沱、太平溪侵入体弯曲

3.2 黄陵庙岩体

该复式岩体的北面 and 北东面与北部崆岭群呈侵入接触,露头线为向 NNE 突出的平缓弓形,主要向内倾,常截切围岩片(麻)理。西界为锯齿状,多见北北西向舌状岩枝侵入围岩。上述特征反映 NW 向的区域构造控制了矿体北界,由于岩浆沿 NW 向围岩片(麻)理或其他先成弱面楔入,使得西界呈不规则状。岩体的东界和南界全被震旦系覆盖,难以推测平面形态。岩体内部石英塑性变形和钾长石斑晶的长轴有较明显的优选方位。宏观上石英呈透镜状平行排列,总体走向近东西;钾长石斑晶长轴方向一般与石英透镜体一致,其晶体完整,无明显折裂位移迹象。

上述特征表明,该岩体结晶过程中,至少在尚未固结的中晚期阶段存在近东西向的剪切压力,其定位模式(图 3)是:在近东西向剪切作用和岩浆流体压力的双重影响下,岩浆克服围岩围压侵入,先成的奥长花岗岩体规模相对较小,但可使围岩加热而降低拉张强度;尔后大量岩浆继续在剪切作用下侵入并扩大空间,并在固结过程中产生斑晶定向和石英变形。岩体西南部与三斗坪复式岩体的界面为 NNW 向及三斗坪岩体内部有近南北向的岩屏说明黄陵庙岩体南部原先存在近南北向弱面,与 NW 向区域构造组成“T”字形。在右旋剪切作用下,“T”字形弱面打开,最终形成了规模巨大、平面上近于等轴形的黄陵庙复式岩体。

3.3 大老岭岩体

由于被震旦系覆盖,大老岭岩体的形态、展布等多不清楚。其主体部分鼓浆坪单元不具叶理和其他定向构造,石英仅有微弱波状消光,表明其定位时区域应力场已由前两个复式岩体的近南北向挤压变为总体引张状态。此外,马滑沟单元侵入体呈多向展布,也和当时围岩已具有脆性域的应变特征有关,意味着大老岭岩体的定位深度明显小于前两个岩体。

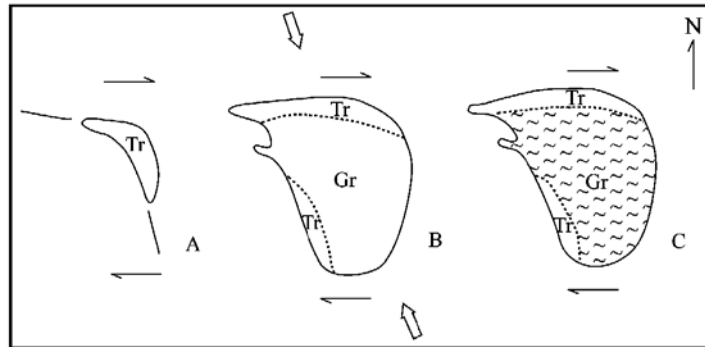


图 3 黄陵庙岩体定位模式

Fig. 3 Emplacement model of Huanglingmiao suite

A—NNW 向区域压力派生的 EW 向剪切使“T”形弱面打开, 奥长花岗岩(Tr) 侵入; B—继续在剪切和岩浆流体压力的联合作用下, 形成巨大的等轴形岩体; C—剪切使正在结晶的矿物定向, 石英塑性变形; Gr—花岗岩

4 形成的大地构造背景

除黄陵岩基外, 扬子地台北缘还分布有汉南岩基和大别山鲤鱼寨等岩体^①。汉南岩基侵入蓟县系三花石群, 也被震旦系不整合覆盖, 面积超过 2 000 km², 由早阶段辉绿(辉绿)岩、主体斜长花岗岩和晚阶段钾长花岗岩组成(严阵, 1985)。其主体五堵门岩体主要为英云闪长岩, 三里坝以及祖师殿、喜神殿等岩体主要为奥长花岗岩和花岗闪长岩, 加上晚阶段的黄官岭钾长花岗岩, 可以和黄陵岩基的三斗坪、黄陵庙、大老岭三岩套对应。汉南岩基有同位素年龄数据近 30 个, 文献通常引用的主体定位年龄为 800 Ma(全岩 Rb-Sr 等时线)至 868 Ma(锆石 U-Pb 法)(陕西省地质局区调队数据)之间, 黄官岭钾长花岗岩则有全岩 Rb-Sr 等时线年龄 788 Ma ± 8 Ma(任富根等, 1989), 也可以和黄陵花岗岩类比。鲤鱼寨岩体资料不多, 岩体面积约 50 km², 主要为英云闪长岩, 全岩 Rb-Sr 等时线年龄 858 Ma ± 137 Ma^①。

Barker(1979)指出, 元古宙以来的英云闪长岩-奥长花岗岩系主要见于 3 种构造环境中: 大陆边缘、岛弧潜火山区和蛇绿岩带。不少人认为, 中晚元古代时黄陵和汉南一带为岛弧区, 陶洪祥(1986)曾论述扬子陆台北缘的中晚元古代沟弧盆系, 指出汉南-黄陵地区在晋宁期时为成熟岛弧或弧后盆地, 并曾把汉南杂岩(基性超基性岩、斜长花岗岩)与西乡群火山岩一起当成蛇绿岩。杨巍然(1987)也认为本区当时为岛弧或陆缘弧, 是板块俯冲机制导致的陆壳改造区。就英云闪长岩-奥长花岗岩系而言, 黄陵、汉南和鲤鱼寨都是高 Al₂O₃ 低 Yb 型, 稀土元素配分型式都是强分馏的轻稀土元素富集型, Eu 异常不明显, 这些都符合 Barker(1979)总结的大陆边缘奥长花岗岩系的特征, 而与产于岛弧区或蛇绿岩中的相去颇远。从黄陵到汉南、鲤鱼寨, Al₂O₃(SiO₂=70% 时)降低(15.7%~15.5%~14.7%), Yb 含量增高(0.68 × 10⁻⁶~0.94 × 10⁻⁶~1.17 × 10⁻⁶), δEu 值也以鲤鱼寨最低(0.88), 但汉南(0.94)却高于黄陵(0.90); 在微量元素方面, 黄陵的 Rb-Sr 含量明显高于汉南, 而 Cr 含量则

① 朱宝康, 刘武等. 1988. 湖北大别山区鲤鱼寨变质英云闪长岩体的基本地质特征.

明显低于汉南(表 2)。按照 Baker 等(1976)将奥长花岗岩 δEu 等与形成深度相联系的观点,从鲤鱼寨-汉南到黄陵,愈来愈深入大陆内部,角闪石铝含量地压计估算证实了这一点。三斗坪和黄陵庙两岩套的定位深度为 15.5~16.5 km,而汉南岩基(不包括黄官岭钾长花岗岩)为 8~13 km(尚瑞钧等,1988),这也正与它们距大陆边缘的远近相符。

表 2 扬子地台北缘低钾花岗岩部分参数对比

Table 2 Geochemical parameters of low-K granites from the northern periphery of Yangtze platform

	黄陵 ^①	汉南 ^②	鲤鱼寨 ^③
$w(\text{Al}_2\text{O}_3)/\%$ ($\text{SiO}_2=70\%$)	15.7	15.5	14.3
δEu	0.90(14)	0.94(5)	0.88(5)
$w(\text{Yb})/10^{-6}$	0.68(14)	0.94(5)	1.17(5)
$w(\text{Rb})/10^{-6}$	42.9(10)	29.8(5)	
$w(\text{Sr})/10^{-6}$	425.0(10)	80.0(5)	
$w(\text{Cr})/10^{-6}$	52.8(10)	143.6(5)	

①由宜昌地质矿产研究所测试室测定; ②据严阵(1985)、尚瑞钧等(1988); ③据朱宝康等(1988); 括号内为样品数。

在图 4 中,三斗坪岩套和黄陵庙岩套几乎都落入消减地区的会聚型活动板块边缘(II 区),并显示出平行于构造分区线的系列趋势;落入 I 区(地幔斜长花岗岩)的 4 个点,位置最高的是美人沱石英闪长岩单元西侧的混染岩,另 3 个点则是这两个岩套各自分异演化的晚期岩墙状脉岩。大老岭和晓峰两岩套的标绘点多位于 III 区,即板块碰撞后的高钾钙碱性花

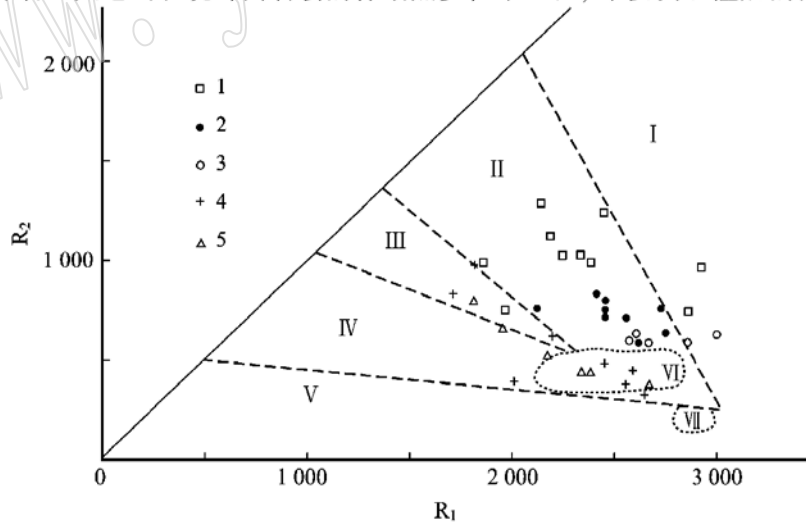


图 4 黄陵及扬子地台北缘 R_1-R_2 花岗岩判别图解(据 Batchelor 等,1985)

Fig. 4 The discrimination of tectonic settings of low-K granites in the north periphery of Yangtze platform
I—地幔斜长花岗岩(M 型); II—消减的活动板块边缘花岗岩(科迪勒拉 I 型); III—板块碰撞后隆起期花岗岩(加里东 I 型); IV—造山期花岗岩; V—非造山区碱性、强碱性花岗岩(A 型); VI—同碰撞花岗岩(S 型); VII—造山期后碱性花岗岩(A 型)。1—三斗坪岩套辉长岩-石英闪长岩-黄云闪长岩; 2—黄陵庙岩套奥长花岗岩; 3—黄陵庙岩套花岗闪长岩; 4—大老岭岩套石英二长闪长岩-二长花岗岩; 5—晓峰二长闪长岩-花岗闪长岩

$$R_1 = 4\text{Si} - 11(\text{K} + \text{Na}) - 2(\text{Fe} + \text{Ti}); \quad R_2 = 6\text{Ca} + 2\text{Mg} + \text{Al}$$

岗岩区; 汉南岩基数据点的分布与黄陵岩基有两点不同: 主要是黄官岭钾长花岗岩位于造山后 A 型花岗岩区(VII区), 其次是主体中少数花岗闪长岩落入 VII区。鲤鱼寨岩体的数据点则均在 II区。

综上所述, 黄陵、汉南和鲤鱼寨的钠质花岗岩系是安第斯型陆缘造山花岗岩, 其形成与北面的“秦岭洋”在晋宁期晚期向扬子地台之下俯冲消减过程有关; 大老岭和晓峰岩套形成于造山作用晚期的隆起阶段, 黄官岭钾长花岗岩则是造山后产物。此外, 由花岗岩的构造环境推测, “秦岭洋”当时似乎并未闭合, 因为扬子地台北缘迄今尚未发现陆壳与陆壳碰撞形成的晋宁期 S 型花岗岩。当然, 震旦系及更晚地层的广泛覆盖或许是未能发现这种证据的原因。

5 黄陵花岗岩的母岩浆和源岩成分

5.1 分离结晶作用和母岩浆成分的估计

前文已指出三斗坪、黄陵庙两岩套共同组成一个岩系, 以具低钾钙碱性趋势或奥长花岗岩趋势为特征, 从辉长岩、石英闪长岩、英云闪长岩、奥长花岗岩到淡色花岗闪长岩, 矿物成分和化学成分呈现规律性的变化, 表明存在以角闪石为主的分离结晶作用。但这种分离结晶作用并不是在一个统一的母岩浆中连续进行的, 而是从成分颇有差异的若干个岩浆中分别演化的。从图 5 中三斗坪、黄陵庙系列点位的分布可以清楚看出, 在岩系的总趋势背景上, 英云闪长岩(及石英闪长岩)、奥长花岗岩和花岗闪长岩三者分别具有明显的次一级趋势: 英云闪长岩“子系统”向富 Si 贫 Ca、Mg 方向演化, 另两个“子系统”则向富 Si 方向演化。英云闪长岩“子系统”从较富镁铁质到较富长英质, SiO₂ 含量从 63% ±1% 增加到约 69%,

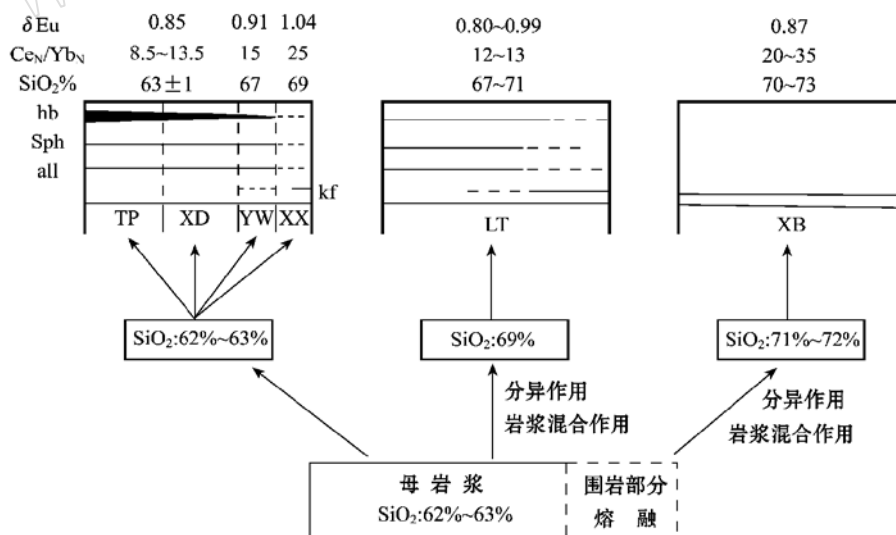


图 5 三斗坪、黄陵庙母岩浆演化示意图

Fig. 5 Evolution of Sandouping and Huanglingmiao granite magma

TP—太平溪单元; XD—西店咀单元; YW—堰湾单元; XX—小溪口单元; LT—乐天溪单元; XB—下堡坪单元;
hb—角闪石; sph—榍石; all—褐帘石; kf—钾长石

除 La、Ce 以外的所有 REE 含量均降低, 从不大的铕负异常变为正异常。正如 Arth 等 (1978) 指出, 这些正是角闪石从英安质岩浆中分离结晶应有的变化, 因为在英安岩浆中角闪石/熔体间 HREE 分配系数为球粒陨石的 5 倍, Sm、Nd 约为 3~4 倍, La、Ce 则稍低于球粒陨石, 并不大的铕异常。另一方面, 按三斗坪岩套各单元地表面积估计, 其 SiO₂ 含量平均约为 62%~63%, 相当于偏中性的英安岩。由此可以推断, 这个“子系统”是由总成分类似太平溪或西店咀单元的岩浆经深部分异、多次脉动侵入形成的。

奥长花岗岩“子系统”的 SiO₂ 含量与上一“子系统”有重叠, 角闪石、钾长石的含量和上一“子系统”有间断; 更突出的是, 奥长花岗岩的球粒陨石标准化 REE 型式并不是英云闪长岩 REE 型或变化趋势的继续, 倒像是几乎相同的重复。这些特征说明, 奥长花岗岩不是三斗坪岩套直接分异的产物, 而是一个 SiO₂ 含量约 69% 的相对独立的岩浆“子系统”的分异产物。在这个“子系统”中, 分离结晶作用主要由角闪石、楣石、褐帘石以及斜长石不断向侧壁增生而实现的, 这正与乐天溪侵入体中观察到的现象相符。淡色花岗闪长岩“子系统”的成分比较均匀, SiO₂ 含量介于 69%~73% 之间, 绝大多数分析数据为 71%~72%, 这大致就是其岩浆的 SiO₂ 平均含量。假如 SiO₂ 含量分别为 62%~63%、69% 和 71%~72% 的这 3 个“子系统”是由一个共同的母岩浆演化而成, 则母岩浆成分相当于三斗坪岩套的平均成分。Arth 等 (1978) 曾以主元素为基础计算了从辉长岩到奥长花岗岩的分离结晶模式, 其中的一部分计算结晶是: 100 份 SiO₂ 含量为 64% 的英云闪长质液体, 通过角闪石、斜长石和黑云母的分异, 可以获得 74 份奥长花岗质液体 (SiO₂ 含量为 71%)。为了降低沉淀物过高的份额 (26%), 设想由相当于三斗坪岩套平均成分的母岩浆演化成 SiO₂ 含量为 69% 和 71%~72% 的岩浆时, 除分离结晶作用外, 还有岩浆混合作用, 即母岩浆在岩浆房滞留过程中使富长英质围岩部分熔融, 新生的低共熔体加入母岩浆并均一化。这种设想的依据是: 第一, 在黄陵庙岩套内不止一处发现富云包体物脉石英包体; 第二, 黄陵庙岩套的人工重砂中有浑圆锆石, 马国干等 (1984) 还报导了年龄 > 2 420 Ma 的继承锆石; 第三, 黄陵庙岩套的 Rb-Sr 初始值明显高于三斗坪岩套, 正如冯定犹、李志昌等 (1991) 所指出, 高出的幅度业已超出分离结晶作用所引起的变化范围。

属于钙碱性岩系的大老岭岩套, 几乎全部是二长花岗岩, 除规模很小的凤凰坪单元外, 其余单元的 SiO₂ 含量为 68.5%~74.6%, K₂O 与 Na₂O 含量大体相符。看来它不可能是三斗坪、黄陵庙系列的演化物, 因为它自成系统, 且比黄陵庙岩套的定位时间晚约 33 Ma, 定位深度浅 10 km, 其主体鼓浆坪单元大体可以代表母岩浆的平均成分, 主要由斜长石及角闪石 (早期) 在深部的分离结晶而成, 衍生出一系列成分稍有不同的岩浆并先后侵入; 此外, 含少量石榴石和白云母的最晚阶段马滑沟单元, 其明显的铕负异常可能和富含挥发组分有关。

同属钙碱性的晓峰岩套, 推测是大老岭岩套的母岩浆与某种来自深部 (上地幔?) 基性岩浆的混合, 主要的依据是: 晓峰岩套侵入了相当于鼓浆坪单元的二长花岗岩, 又依序被闪长玢岩和辉绿玢岩所侵入。

5.2 关于源岩的推测

表 3 列出了黄陵花岗岩及其北侧晚太古代斜长角闪岩的 Rb-Sr、Sm-Nd 分析结果。三斗坪、黄陵庙系列具有较高的 ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr 初始值和相当大的负 ε_{Nd}(T) 值 (表 3), 表明它们的岩浆不可能源于晋宁期时的上地幔, 至少地幔的直接贡献在比例上很小; 与此相反, 其源岩可能是某种古老的地壳岩石。

表 3 黄陵花岗岩和晚太古代斜长角闪岩的 Rb-Sr-Sm-Nd 数据

Table 3 Rb, Sr, Sm, Nd isotopic data of Huangling granite and Late Archeozoic amphibolite

序号	样号	⁸⁷ Rb/ ⁸⁶ Sr	⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr (2σ)	¹⁴⁷ Sm/ ¹⁴⁴ Nd	¹⁴³ Nd/ ¹⁴⁴ Nd (2σ)	εNd(0)	T (Ma)	εNd(T)	(⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr) _i	T _{CHUR} (Ma)	T _{DM} [*] (Ma)
1	YL7_x41	0.08737 0.08651	0.70688 ± 3 0.70644 ± 3	0.1528	0.511789 ± 17	- 16.6	2981	+ 0.3	0.7031 0.7027	2929	3380
2	(7 个样)	0.18804	0.70585 ± 12	0.1324	0.511674 ± 25	- 18.8	832	- 11.98	0.7054	2798	2940
3	(3 个样)	0.55137	0.71329 ± 7	0.1069	0.511495 ± 21	- 22.3	819	- 12.90	0.7068	1939	2356
4	B135_1	0.7596	0.7151 ± 6	0.0703	0.511435 ± 13	- 23.5	786	- 10.78	0.7066	1448	1818
5	B135_2	0.3734	0.71090 ± 3	0.1108	0.511543 ± 13	- 21.4	786	- 12.75	0.7068	1937	2369
6	B150	1.2701	0.72084 ± 1	0.0731	0.511445 ± 15	- 23.3	786	- 10.87	0.7066	1469	1843

1—北部崆岭群灰色片麻岩中的斜长角闪岩(变玄武岩)包体; 2—三斗坪岩套石英闪长岩、英云闪长岩 7 个样平均(据冯定犹等, 1991,); 3—黄陵庙岩套花岗闪长岩 3 个样平均(据冯定犹等, 1991); 4, 5—大老岭岩套二长花岗岩; 6—大老岭岩套钾长花岗岩; * T_{DM}为假设产生于具有 εNd(0) = + 10 的亏损地幔源的模式年龄。

呈包体产于北部崆岭群下部灰色片麻岩中的奥长花岗质古侵入体中的含石榴石斜长角闪岩(HVI- 7- X41)的源岩为大陆拉斑玄武岩, 具 LREE 稍富集的 REE 型式, 斜长角闪岩和寄主岩灰色片麻岩构成的 Rb-Sr 等时线年龄为 2 675 Ma, Sm-Nd 等时线年龄为 2 981 Ma^①。在三斗坪、黄陵庙和大老岭 3 个岩套定位时, 即距今 832、819 和 786 Ma 时, 斜长角闪岩的 εNd(T) 分别为 - 11.92、- 11.99 和 - 12.17, (⁸⁷Sr/⁸⁶Sr)_i 分别为 0.70541~ 0.70581、0.70542~ 0.70583 和 0.70546~ 0.70587 (同(⁸⁷Sr/⁸⁶Sr)_i 一样品重复测定值分别计算) 三斗坪岩套全部 7 个样的 εNd(T) 平均为 - 11.98。平均为 0.7054, 正好位于斜长角闪岩的 Nd-Sr 演化线上(图 6)。黄陵庙岩套和大老岭岩套按各自定位年龄计算, εNd(T) 为 - 12.9、

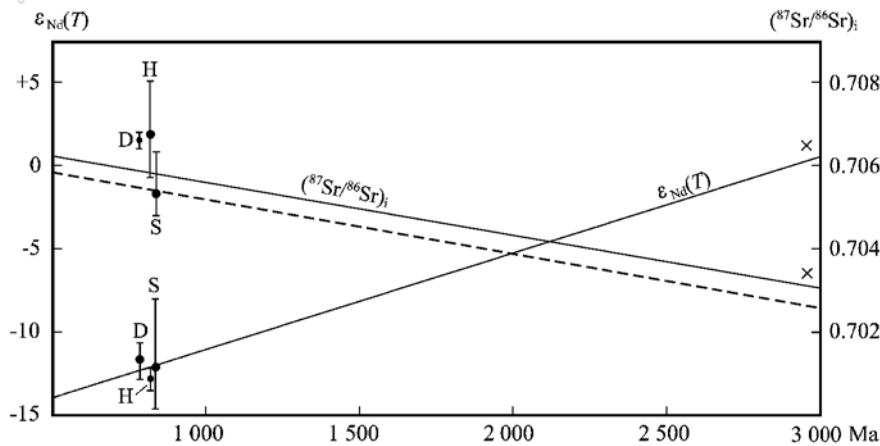


图 6 黄陵花岗岩 Nd-Sr 同位素特征与演化

Fig. 6 Nd-Sr isotopic evolution of Huangling granite

X—斜长角闪岩(2 981 Ma); S—三斗坪岩套(832 Ma); H—黄陵庙岩套(819 Ma); D—大老岭岩套(786 Ma); 实心小圆点及线段为各岩套数据平均值及范围

① 马大铨等, 1992. 黄陵花岗岩基侵入期次、时代及成因研究.

- 11.47, 分别位于斜长角闪岩 Nd 演化线的一侧; 而($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$)_i 分别 0.7068、0.7066, 都位于该斜长角闪岩 Sr 演化线的上方。由此看来, 三斗坪岩套的源岩很可能就是这种晚太古代的大陆拉斑玄武岩或与其类似的岩石。黄陵庙岩套则是这种源岩重熔所产生的岩浆被某种地壳岩石所混染而形成的。从图 6 推测, 这种混染物必定比原始母岩浆富含轻稀土元素, 有较高的 Rb/Sr 值, 从而也含有较高的 K₂O。在崆岭群中符合这种条件的岩石很多。

大老岭岩套的 $\epsilon_{\text{Nd}}(T)$ 负值较低, 意味着其原始岩浆被某种轻稀土元素亏损的物质所混染。比较理想的混入物是当时的亏损地幔派生岩浆, 但这将使它具有低于斜长角闪岩 Sr 演化线的初始值。黄陵花岗岩基 8 个样品的长石铅同位素组成(表 4) 表明, 它们的放射成因铅都很低, 这为它们都起源于早前寒武纪基底结晶岩石提供了重要佐证。

表 4 黄陵花岗岩基长石的铅同位素组成

Table 4 Pb isotopic compositions of feldspars from Huangling granite batholith

样号	位置及产状	测定矿物	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	中值年龄 (Ma)	μ 值
Q1_B129	之字拐鼓浆坪单元粗中粒黑云二长花岗岩	长石	17.062	15.440	37.833	946.199	9.34
Q2_B148	长冲田家坪单元粗粒似斑状含角闪黑云二长花岗岩	长石	16.788	15.371	37.356	1066.783	9.26
Q3_B165	雷家湾下堡坪单元似斑状花岗岩	长石	16.515	15.329	37.431	121.426	9.24
Q4_H48	板苍河蛟龙寺单元黑云奥长花岗岩	长石	16.063	15.285	37.367	1491.28	9.28
Q5_B87	太平溪单元黑云角闪英云闪长岩	长石	17.026	15.379	37.147	906.370	9.22
Q6_7	大坝 7 号硐石英闪长岩美人沱单元	长石	16.906	15.408	37.167	1022.20	9.31
Q7_B185	乐天溪单元奥长花岗岩	长石	16.591	15.353	37.670	1187.158	9.27
Q8_TZ24	板苍河细粒奥长花岗岩脉	长石	16.507	15.300	37.384	1192.624	9.17
Q9_TZ39	马滑沟单元二长花岗质伟晶岩脉	长石	17.696	15.445	37.957	498.618	9.24

由宜昌地质矿产研究所同位素地质研究与实验室测定。

6 结 论

黄陵花岗岩基可解体为三斗坪、黄陵庙、大老岭、晓峰 4 个岩套和 14 个单元, 侵位于 832~750 Ma 之间。三斗坪和黄陵庙两个岩套主要由英云闪长岩、奥长花岗岩、花岗闪长岩组成, 是在近北向区域挤压下在约 16 km 深部塑性域定位的同构造花岗岩, 前者主要依靠岩浆在构造弱面逐次强力楔入创造定位空间, 后者主要在处于活动状态的韧性拉张剪切带内定位。钙碱岩系列的大老岭和晓峰岩套则是在本区地壳迅速隆起过程中分别在 5 km 和 < 1.5 km 深度的脆性域定位的构造晚期花岗岩。根据岩石化学和同位素组成推断, 三斗坪岩套的源岩主要是晚太古代大陆拉斑玄武岩, 母岩浆相当于英安质, 岩套内的成分变化主要受角闪石分离结晶作用所控制; 黄陵庙岩套除分离结晶作用的影响外, 成分变化主要与英安质母岩浆和某种长英质岩浆的混合有关; 大老岭岩套的源岩亦为早前寒武纪火山岩。黄陵花岗岩基形成于晋宁晚期扬子地台北侧的“秦岭洋”壳向南俯冲导致的大陆边缘造山运动过程中。

References

- Arth J G, Barker F, Peterman Z E, *et al.* 1978. Geochemistry of the Gabbro - Diorite - Tonalite - Trondhjemite suite of southwest Finland and its Implications for the Origin of Tonalite Tonalitic and Trondhjemitic Magmas[J]. *J. Petrol.*, 19: 289~ 316.
- Barker F and Arth J G. 1976. Generation of trondhjemitic- tonalitic liquids and Archean bimodal trondhjemite- basalt suites [J]. *Geology*, 4: 596~ 600.
- Batchelor R A and Bowden P. 1985. Petrogenetic interpretation of granitoid rock series using multicat_ionic parameters[J]. *Chem, Geol.*, 48, 43~ 55.
- Barker F. 1979. Trondhjemites, dacites, and related rocks[M]. Amsterdam: Elsevier, 1~ 385.
- Feng Dingyou, Li Zhichang, Zhang Zichao. 1991. Intrusive ages and isotopic characteristics of massives in the south of Huangling granitoid[J]. *Hubei Geology*, 2: 1~ 12 (in Chinese).
- Ma Guogan, Li Huaqin, Zhang Zichao. 1984. An investigation of the age limits of the Sinian system in south China[J]. *Bulletin of the Yichang Institute of Geology and Mineral Resources*, 8: 1~ 29 (in Chinese).
- Ren Fugen, Sun Zhonghe, Qi Shaomie, *et al.* 1989. The character of the volcanic- intrusive rock series of late proterozoic in Gangchang, Hanzhong and the correlation of its related strata[J]. *Bulletin of the Tianjin Institute of Geology and Mineral Resources*, 21: 75~ 87 (in Chinese).
- Shang Ruijun and Yan Zhen. 1988. Granites of Mt. Qinling and Dabashan[M]. Wuhan: Chinese Geology University Press, 1~ 224 (in Chinese).
- Tao Hongxiang, Gao Zhaoying, Wang Qingjin, *et al.* 1986. The geological features of the high pressure and low temperature glaucophane schist zone in the northwest margin of Yangtze plate[J]. *J. of Xi'an college of Geology*, 2: 23~ 31 (in Chinese).
- Yan Zhen. 1985. Granites of Shaanxi province[M]. Xi'an Communication University Press, 1~ 256 (in Chinese).
- Yang Weiran. 1987. "Opening" and "closing" history in east Qinling[J]. *Earth science- J. of Wuhan College of Geology*, 12: 487~ 493 (in Chinese).

附中文参考文献

- 冯定犹, 李志昌. 1991. 黄陵花岗岩类岩基南部岩体侵入时代和同位素特征[J]. *湖北地质*, 2: 1~ 12.
- 马国干, 李华芹, 张自超. 1984. 华南地区震旦纪时限范围的研究[J]. *宜昌地质矿产研究所所刊*, 8: 1~ 29.
- 任富根, 孙忠和, 亓绍玫, 等. 1989. 汉中钢厂晚元古代火山- 侵入岩的特征及相关地层对比[J]. *天津地质矿产研究所所刊*, 21: 75~ 87.
- 尚瑞钧, 严阵. 1988. 秦巴花岗岩[J]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1~ 224.
- 陶洪祥, 高肇英, 王庆金, 等. 1986. 扬子板块西北缘高压低温蓝闪片岩带的地质特征[J]. *西安地质学院学报*, (2): 23~ 31.
- 严阵. 1985. 陕西省花岗岩[J]. 西安: 西安交通大学出版社, 1~ 256.
- 杨巍然. 1987. 东秦岭“开”“合”史[J]. *地球科学*, 12: 487~ 493.