

# 大陆板块会聚边界的地幔动力学与现代地壳作用

## 简报

2004-2 总第3期

项目办公室 编

2004年2月23日

### 《地质学报》第4期收录文章目录及摘要

中国大陆科学钻探工程及973项目--《大陆板块会聚边界的地幔动力学与现代地壳作用》开展以来,已经取得了一批初步成果。2003年12月,《地质学报》第4期以专辑的形式发表了14篇与973CCSD相关的文章,以下为14篇文章的目录及摘要。---编者注

苏鲁高压—超高压变质带的折返构造及折返机制.....	1
江苏东海县幔源橄榄岩包体及其深部构造意义.....	2
中央碰撞造山带中两期超高压变质作用:来自含柯石英锆石的定年证据.....	2
南苏鲁造山带的超高压变质岩及岩石化学研究.....	3
江苏东海芝麻房预先导孔(CCS-D—PPI)橄榄岩其反映的上地幔亏损和交代事件.....	3
江苏东海榴辉岩向斜长角闪岩转化的研究.....	3
江苏东海预先导孔(CCS-D—PPI)超高压岩石变流体及其演化.....	4
苏鲁超高压变质带中非超高压花岗质片麻岩的准确识别: 来自锆石微区矿物包体及SHR重MPU—Pb定年的证据.....	4
江苏东海预先导孔(CCS-D—PP2)岩心样中磷灰石裂变径迹年龄测定.....	5
苏北榴辉岩中水晶的形成时代及其对超高压变质岩折返的示踪意义.....	5
苏鲁超高压变质带石榴石橄榄岩中含钛硅镁石出溶体的发现及其意义.....	5
石榴石辉石岩的单斜辉石中非闪石和钛铁矿出溶结构及地质意义.....	5
苏北中生代碰撞后花岗岩的地球化学特征及其地质意义.....	6
苏鲁大别造山带岩石圈三维P波速度结构特征.....	6

### 苏鲁高压—超高压变质带的折返构造及折返机制

许志琴 张泽明 刘福来 杨经绥 李海兵 杨天南 邱海峻  
李天福 孟繁聪 陈世忠 唐哲民 陈方远

苏鲁高压—超高压变质带的折返构造是由韧性剪切叠覆构造岩片组成,具NWW—SEE向剪切矢量及SEE向NWW的剪切指向,与折返构造伴随的高压和超高压退变质反应过程与石英从高温—中温—低温的组构模式吻合。150~100Ma期间的伸展事件包含了北界韧性伸展转换性剪切带及莱阳盆地的形成、

苏鲁高压——超高压变质带北部花岗岩侵位、折返面理弯曲形成背形构造及伴随的韧—脆性正滑构造。多学科的综合研究表明，240—220Ma 扬子板块巨量物质往北深俯冲于北中国板块之下，220~200 Ma 高压——超高压变质岩石整体快速折返，折返板片中保存的自上而下变质岩石单元序列与剪切叠覆构造岩片的物质组成序列基本一致。提出苏鲁高压——超高压变质折返板片呈上拱的舌形体，变形分解表明苏鲁高压——超高压变质板片是在“挤出”机制下折返及受后期伸展事件的改造。

## 江苏东海县幔源橄榄岩包体及其深部构造意义

金振民 余日东 杨文采 欧新功

东海县境内仅有两个碱性玄武岩火山口(平明山和安峰山)形成于晚新生代，K—Ar 同位素年龄测定，平明山为 4.02~6.38Ma，安峰山为 7.3~12.3Ma。岩石学和地球化学特征揭示包体寄主岩为碧玄岩，岩浆没有经历明显分异和同化混杂作用。平明山碧玄岩含有丰富幔源包体，包括尖晶石二辉橄榄岩、方辉橄榄岩和二辉岩。采用 Bertrand 等(1985)和 Kohler 等(1990)的温度—压力计估算了包体平衡温度和压力分别为 830~900 和 1.5~1.7GPa。根据温压资料构建的古地温曲线，对应于大陆热流值 75mW/m 和岩石圈厚度 55km。氧化缀饰法揭示本区橄榄岩包体经历了高温低应变速率塑性流动变形，形成各种类型的位错构造。高温高压实验测定，二辉橄榄岩  $V_p$  速度为 8.0—8.2km/s， $V_s$  速度为 4.50~4.77km/s。中国大陆科学钻(CCSZ)附近幔源橄榄岩包体的发现对东海地区岩石圈厚度、物质组成、热结构和底侵作用动力过程提供了重要约束。

## 中央碰撞造山带中两期超高压变质作用： 来自含柯石英锆石的定年证据

杨经绥 刘福来 吴才来 万渝生 张建新 史仁灯 陈松永

沿中央造山带存在一条巨大的超高压变质带，其西起阿尔金—祁连，往东经秦岭，延至大别—苏鲁，全长超过 4000km。柴北缘片麻岩中含柯石英锆石的 SIMS 离子探针原位微区 U—Pb 定年获得超高压变质年龄  $452 \pm 13.8$ Ma，锆石的退变质年龄  $419 \pm 6.7$ Ma。SHRIMP U—Pb 定年获得秦岭含金刚石片麻岩中锆石的下交点年龄  $502 \pm 45$  Ma，上交点年龄  $1545 \pm 100$ Ma，认为前者代表超高压变质年龄，后者为原岩岩浆锆石年龄；获得榴辉岩锆石的上交点年龄  $1381 \pm 82$ Ma 和下交点  $493 \pm 170$  Ma，认为上交点代表榴辉岩原岩年龄，下交点代表超高压变质年龄；获得江苏东海县青龙山榴辉岩含柯石英等超高压矿物锆石的年龄为  $441 \pm 9$  Ma， $449 \pm 9$  Ma，和  $442 \pm 9$ Ma，平均  $444 \pm 9$  Ma，核部含斜长石+磷灰石锆石年龄为  $761 \pm 13$  Ma，认为前者代表超高压变质年龄，后者代表榴辉岩原岩结晶年龄。认为中国中部沿中央造山带中存在两期超高压变质作用，第一期为加里东期，第二期为印支期，两期超高压变质事件在时空分布方面是不同的，加里东期超高压变质事件由西部阿尔金—柴北缘延至东部大别—苏鲁，印支期超高压变质事件没有在大别以西发现。认为中央造山带应是一个多期活动的造山带，较早形成罗德尼亚大陆的格林威尔造山运动可能留下了 10 亿年左右的构造岩浆事件记录，如中央造山带中大量 10 亿年左右的花岗岩及基性超基性岩类；罗德尼亚大陆之后第一次裂解作用可能发生在 8 亿年左右；其后早古生代加里东期的洋盆裂开，蛇绿岩和超高压变质岩石的大量出现是一次十分强烈的板块构造事件，从东到西，沿中央造山带均有分布；加里东期造山事件之后印支期沿该造山带又有一次大的板块裂解和俯冲碰撞作用，表现在勉略蛇绿岩洋壳及大别—苏鲁印支期超高压变质带的存在。中央造山带保留和记录了多期裂解、会聚事件，通过对其解剖，不仅可以认识中国大地构造格局和演化，并由此理解全球的大陆漂移、一系列大裂解和大会聚等重大地质事件。

# 南苏鲁造山带的超高压变质岩及岩石化学研究

张泽明 许志琴 刘福来 游振东 孟繁聪 李天福

在南苏鲁造山带核部，古老的表壳岩和花岗质侵入岩经历了三叠纪的超高压变质作用，在超高压变质岩石抬升过程中经历了强烈的角闪岩相退变质作用改造。据岩相学和岩石化学研究，可以区分出六大类典型超高压变质岩：榴辉岩、石榴石橄榄岩、石英硬玉岩、石榴石多硅白云母片岩、硬玉石英岩和石榴石绿辉石文石岩。这些岩石的角闪岩相退变质产物分别是斜长角闪岩、蛇纹岩、长英质片麻岩、长石石英云母片岩、石英岩和大理岩。地球化学研究揭示，榴辉岩的原岩很可能是形成在大陆内部构造环境的拉斑玄武岩，而石榴石橄榄岩可能是起源于亏损的残余地幔。石英硬玉岩原岩包括正变质的花岗岩和奥长花岗岩、副变质的酸性火山碎屑岩和长石石英砂岩。大面积分布的古老花岗岩很可能是形成在大陆或大陆边缘环境。长石石英云母片岩、石英岩和大理岩的原岩为沉积岩，与副变质的长英质片麻岩和基性火山岩一起构成了古老的表壳岩组合。双峰式的酸性和基性火山岩组合的存在也证明部分表壳岩是形成在大陆环境。因此，可以推测南苏鲁造山带核部的超高压变质岩原岩为形成在大陆板内环境的沉积岩—酸性和基性火山岩—花岗岩和奥长花岗岩建造。

## 江苏东海芝麻房预先导孔(CCSD—PP1)橄榄岩其反映的上地幔亏损和交代事件

李天福 杨经绥 张儒媛

芝麻房预先导孔橄榄岩岩石类型有二辉橄榄岩、方辉橄榄岩、单辉橄榄岩和纯橄榄岩，其中前3种多数含有石榴子石。这些岩石在垂向上显示成层性，没有某种方向的韵律变化，它们之间呈渐变过渡关系。对样品进行主量元素、微量元素、稀土元素和 Sr、Nd、O 同位素分析表明，随着样品 MgO 含量的增高， $Al_2O_3$ 、CaO 逐渐降低，呈良好的相关关系，并且大致上从石榴橄榄岩类到不含石榴子石的橄榄岩类主量元素的亏损程度增高，两者一般均比原始地幔主量元素亏损。稀土元素配分型式表现为右倾的轻稀土富集型，在微量元素蛛网图上，也表现为强不相容元素和微量元素到适度不相容元素的总体右倾型，与原始地幔相比，均富集强不相容元素。富集程度的不同与主量元素的亏损无对应关系，说明主量元素和微量元素各自的特点不是同一种事件造成的，而是先前地幔部分熔融作用之后又发生了富含不相容元素流体的交代作用。Sr、Nd 同位素具有富集特点，变化范围较大，而且主量元素较亏损的岩石更富集 Sr 同位素，显示了交代富集的特点。稀土元素(Ce / Yb)<sub>N</sub>比值和  $e_{Nd}$  之间的负相关关系和 Rb 丰度与 Sr 同位素之间正相关关系表明，富集 Sr、Nd 同位素的流体和富集不相容微量元素的流体均来自地幔。

## 江苏东海榴辉岩向斜长角闪岩转化的研究

杨天南 许志琴 陈方远

东海榴辉岩曾被俯冲到上地幔，而后又折返回地表，经历了宽广的温度、压力、应力、流体条件等变化范围，形成了大量矿物反应结构，为研究岩石矿物反应提供了很好的素材。本文选取东海地区一个保留从初始榴辉岩到斜长角闪岩完整退变质序列的榴辉岩体作为研究对象，通过详细的显微结构观察、矿物成分分析、成分空间分析、成分迁移估算，揭示了东海榴辉岩向斜长角闪岩的转化过程。该过程可划分为两个阶段：早期为替代绿辉石的后成合晶形成阶段，通过绿辉石内部端元组分间的反应实现，反应产物之一的  $Fe^{2+}$  与金红石结合形成钛铁矿，Ca、Mg 被排出到绿辉石体系之外。晚期退变为流体的渗滤

交代作用,表现为石榴子石被角闪石部分取代、后成合晶的角闪石化,以及黝帘石、白云母的形成。退变质的最后阶段为石榴子石被绿帘石+角闪石+赤铁矿完全替代。榴辉岩转化成含帘石的斜长角闪岩。

## 江苏东海预先导孔(CCSD-PP1)超高压岩石变流体及其演化

沈 昆 张泽明 A. M. Vandenkerkhof 肖益林 J. Hoefs

中国大陆科学钻探工程预先导孔(CCSD—PPH)位于大别—苏鲁超高压变质带东段的江苏东海县,孔深为432m,其岩心为一套变质表壳岩、花岗质片麻岩和镁铁—超镁铁质侵入岩。它们经历了超高压变质作用和随后的角闪岩相退变质作用。这些岩石中存在四类流体包裹体: 中高盐度  $\text{CaCl}_2\text{—NaCl—H}_2\text{O}$  包裹体(?型),宿主为榴辉岩中的石榴子石、绿辉石和蓝晶石石英岩中的蓝晶石,可能代表了峰期变质流体;  $\text{H}_2\text{O—CO}_2(\pm\text{N}_2)\text{—NaCl}$  土固体的包裹体(型),宿主为榴辉岩中的石英和蓝晶石石英岩中的蓝晶石,可能为超高压岩石折返和退变质期间带入岩石的流体; 中—低盐度水溶液包裹体(?型),产于蓝晶石石英岩、榴辉岩和片麻岩中。蓝晶石石英岩中的包裹体是部分继承了俯冲阶段变沉积岩脱水—脱挥发分流体;榴辉岩和片麻岩中的中—低盐度水溶液包裹体主要是角闪岩相退变质期间或更晚期捕获的; 中—低密度的富  $\text{CO}_2$  包裹体(型),沿蓝晶石石英岩石英中的(切)穿颗粒裂隙分布。根据包裹体显微测温数据,从I型包裹体的等容线得到的压力值大大低于根据矿物温压计获得的压力。这表明大多数?型包裹体的组成和密度在捕获后均发生了不同程度改变。这些变化包括渗漏、部分爆裂和流体—岩石相互作用等。流体包裹体研究也表明本区超高压变质作用峰期流体体系基本上是封闭的,不存在大规模的流体流动。

## 苏鲁超高压变质带中非超高压花岗质片麻岩的准确识别:

### 来自锆石微区矿物包体及 SHRIMP U—Pb 定年的证据

刘福来 许志琴 宋 彪

通过隐藏在锆石微区矿物包体激光拉曼的系统鉴定和阴极发光图像特征的详细研究,配合相应的锆石微区 SHRIMP U-Pb 定年测试,发现苏鲁地体超高压变质带中确实存在非超高压变质的花岗质片麻岩。该类岩石中的锆石晶体自核部到边部所保存的矿物包体以不含超高压矿物为特征,相应的阴极发光图像具有典型岩浆结晶锆石的核部和幔部,以及变质的再生边的特点。其中岩浆结晶锆石微区记录的  $^{238}\text{U}\text{—}^{206}\text{Pb}$ \*年龄为404~748Ma,表明原岩中部分锆石可能经历了Pb丢失,也不排除后期热事件因素的影响,原岩的形成年龄应大于748Ma;而锆石的再生边所记录的  $^{238}\text{U}\text{—}^{206}\text{Pb}$ \*年龄为204—214Ma,与研究区经历超高压变质的副片麻岩和花岗质片麻岩锆石微区所记录的苏鲁地体快速折返过程中角闪岩相退变质年龄( $^{238}\text{U}\text{—}^{206}\text{Pb}$ \*年龄的平均值为211±4Ma,刘福来等,2003a)十分相似。上述特征表明,苏鲁地体超高压变质带中的部分花岗质片麻岩在超高压变质事件之前就已经形成,但并未“参与”深俯冲—超高压的变质演化过程,而是在苏鲁地体快速折返的角闪岩相退变质过程中与超高压岩片“拼贴”在一起。该项成果不仅为正确识别非超高压变质岩石提供了一个新的研究方法,而且对进一步深入探讨苏鲁地体超高压和非超高压岩片的“拼贴”机制有着重要的科学意义。

# 江苏东海预先导(CCSD—PP2)岩心样中磷灰石

## 裂变径迹年龄测定

刘顺生 殷秀兰 许志琴

对中国大陆科学钻探预先导孔(CCSD—PP2)的 11 个钻孔岩心样进行了裂变径迹年龄测定,其中 10 个样品的结果为 79.6~52.0Ma。经数学处理后,初步可以看出裂变径迹年龄随深度的变化趋势,并在此基础上,对隆升速度和古地温梯度进行了初步讨论,推算该地块在 80.4~52.0Ma 以前的隆升速度约为 35.0 m/Ma,当时的古地温梯度约为 35.6 °C/km。

# 苏北榴辉岩中水晶的形成时代及其对超高压变质岩

## 折返的示踪意义

王登红 徐 珏 陈毓川 李华芹 余金杰

江苏东海水晶以其晶体粒大和产量巨大而闻名,在地质上也因其产于高压超高压变质带而独具特色。在对大别—苏鲁超高压变质带的区域成矿作用进行研究和对中国大陆科学钻探工程(CCSD)主孔岩心进行编录的过程中,认识到超高压带存在着超低压成矿现象,包括中国最主要的水晶矿床成矿带在内的许多矿床可能是在超高压变质之后退变质结束阶段的超低压环境中形成的,对水晶进行流体包裹体的 Rb—Sr 等时线年代学研究,获得 208Ma 的等时线年龄,表明成矿时代为印支期。该年代可视为超高压变质带折返并经历了退变质之后而“稳定”下来的时间。

# 苏鲁超高压变质带石榴石橄榄岩中含钛硅镁石

## 出溶体的发现及其意义

许志琴 陈 晶 杨经绥 李旭平 陈方远

在苏鲁超高压变质带南部东海地区的中国大陆超深钻预先导孔 CCSD—PP1 中获得了石榴石橄榄岩样品,在石榴子石内单斜辉石包裹体中首次发现钛斜硅镁石和钛粒硅镁石出溶体结构,钛斜硅镁石和钛粒硅镁石呈出溶棒和出溶片晶产出。根据石榴子石中包裹体的成分计算包裹体的形成温压条件为  $t = 716 \sim 914$  °C;  $p = 4.8 \sim 5.1$  GPa。根据钛斜硅镁石出溶体的  $X_{OH} = 1$ ,  $X_F = 0$ ,  $X_{Fe} = 0.074 \sim 0.094$  (平均 0.082),  $X_{Ti} = 0.41 \sim 0.74$  (平均 0.56), 估算钛斜硅镁石出溶结构形成在压力  $> 3.5$  GPa 条件下 ( $> 850$  °C), 这种出溶结构记录了该岩石在早期折返过程中仍处在超高压变质环境中。

# 石榴石辉石岩的单斜辉石中韭闪石和钛铁矿

## 出溶结构及地质意义

陈 晶 许志琴 李旭平 陈志忠 李天福 陈方远

本文首次报道了在苏鲁超高压变质带胡家岭地区石榴石辉石岩中发现的韭闪石出溶结构。该石榴石

辉石岩是由石榴子石、单斜辉石以及镁铝尖晶石、钛铁矿和磁铁矿组成。在石榴子石巨斑晶中有单斜辉石包体，单斜辉石包体中又有石榴子石包体以及大量韭闪石出溶片晶和钛铁矿(+磁铁矿)出溶棒。单斜辉石中韭闪石出溶片晶呈平行条带状，其宽度在  $1 \sim 10 \mu\text{m}$  之间。透射电子显微镜(TEM)观察韭闪石的(010)面平行于主晶透辉石的(010)面，且两者的界面在纳米尺度上是连续过渡的，证明韭闪石是出溶形成的。大量钛铁矿出溶棒的定向排列也显示出它们是自然出溶形成的。从单斜辉石出溶的矿物组合推测其原始单斜辉石成分中应富含  $\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{Na}$  和  $\text{Ti}$ ，属高压型单斜辉石。该石榴石辉石岩经历了超高压变质作用后，在抬升减压过程中形成这些出溶结构。大量钛铁矿出溶棒均斜切韭闪石出溶片晶，表明该超高压岩石在减压过程中至少经历了两期以上导致温压明显变化的地质事件。

## 苏北中生代碰撞后花岗岩的地球化学特征及其地质意义

孟繁聪 许志琴 张泽明 刘福来

苏鲁超高压变质带南部的花岗岩体为中生代的 I 型花岗岩，侵入到围岩片麻岩中，属碰撞后花岗岩。 $\text{SiO}_2$  含量为  $56.15\% \sim 66.67\%$ ， $\text{Na}_2\text{O}$  含量为  $3.58\% \sim 4.54\%$ ， $\text{K}_2\text{O}$  含量为  $2.16\% \sim 4.58\%$ ， $\text{Alk}$  为  $6.93 \sim 8.62\%$ 。里特曼指数为  $2.7 \sim 3.1$ ，属于高钾钙碱性岩石。 $\text{Eu}=\text{Eu}^*/\text{Sm}^*=0.76 \sim 0.82$ ，为弱的负铕异常。围岩片麻岩  $\text{SiO}_2$  含量较高，为  $70.55\% \sim 77.28\%$ 。 $\text{Na}_2\text{O}$  为  $3.12\% \sim 5.39\%$ ， $\text{K}_2\text{O}$  为  $1.78\% \sim 6.22\%$ ， $\text{Eu}$  为  $0.38 \sim 0.59$ ，具有明显的铕异常。花岗岩与片麻岩的地球化学特征有明显差别，表明两者在成因上关系不大，花岗岩的源岩为未出露地表中下地壳岩石。拆沉模式可较好地解释碰撞后花岗岩与超高压变质岩的“共生”现象。

## 苏鲁大别造山带岩石圈三维 P 波速度结构特征

徐纪人 杨文采 赵志新 程振炎

本文全面收集整理并解析了地学断面、地震测深、体波和面波层析成像资料，得到了苏鲁大别造山带及其邻区岩石圈  $1^\circ \times 1^\circ$  三维 P 波速度数据体。研究表明，苏鲁与大别造山带高压、超高压变质带的岩石圈速度结构具有上地壳明显高速且上凸；中地壳增厚；下地壳埋藏较深且下凹等相似的基本特征。苏鲁和大别超高压变质带下的莫霍面比其周围深  $2 \sim 4\text{km}$ ，深度分别达到  $32 \sim 33\text{km}$  和  $34 \sim 38\text{km}$ 。在大别造山带，有地壳低速体从南向北俯冲到上地幔的迹象，可能显示了扬子地块地壳物质向华北地块俯冲，坠入上地幔的残留体。超高压变质带岩石圈底部的地幔，往往有明显高速层或高速体存在。苏鲁与大别地区的岩石圈速度结构不同特征及其成因在于，苏鲁地区上地壳 P 波速度更高，但是下地壳下凹没有大别地区明显而且区域构造较为均一。这可能是受到郯庐断层左行平移的主控影响所致。郯庐断裂带的上、中地壳和上地幔表现为相对低速异常，郯庐断裂及其地下延伸部分将岩石圈地幔浅部低速层和深部高速层切为两段，其影响深达岩石圈底部约  $90\text{km}$  处。