

·学科进展·

# 汉诺坝麻粒岩相-榴辉岩相堆晶岩捕虏体 ——壳-幔过渡带的证据

樊祺诚 隋建立

(中国地震局地质研究所,北京 100029)

**[摘要]** 地质产状、层状堆晶构造、矿物岩石学、年代学、REE地球化学和高温高压波速实验表明,汉诺坝新生代玄武岩中的麻粒岩相和榴辉岩相堆晶岩捕虏体是显生宙以来由幔源岩浆底侵于壳-幔边界形成的镁铁质堆晶岩,分别经历了下地壳麻粒岩相变质作用和上地幔榴辉岩相变质作用。

**[关键词]** 麻粒岩相-榴辉岩相堆晶岩捕虏体,壳-幔过渡带,汉诺坝

莫霍面作为大陆岩石圈壳-幔之间的重要界面一经提出,就引起人们广泛注意和不懈探索。围绕莫霍面的性质早就有“相变界面”<sup>[1,2]</sup>与“化学界面”<sup>[3]</sup>之纷争。实际上,壳-幔边界并非一个截然的界面,而是一个存在基性、超基性岩浆底侵的过渡带<sup>[4]</sup>,这已为后来的全球众多地学断面等地球物理深部探测资料所证实。由于壳-幔相互作用(包括底侵作用和拆沉作用两种不同过程),岩浆的底侵和岩石圈底部的拆沉、壳-幔边界物质的穿插与交错,导致壳-幔边界的复杂变化。近些年我们对汉诺坝新生代玄武岩中下地壳麻粒岩相捕虏体与上地幔榴辉岩相捕虏体的研究,直接提供了岩浆底侵作用导致壳-幔过渡带存在的岩石学证据。通过这些被火山活动捕获至地表的支离破碎的捕虏体样品之产状恢复、岩相学、年代学、岩石地球化学及其高温高压下的物性实验研究<sup>[5-7]</sup>,可以恢复现今壳-幔过渡带的状态与组成特征。

## 1 捕虏体产状特征

河北省北部的万全、张北、崇礼、尚义境内的汉诺坝新生代玄武岩中以富含各种橄榄岩、辉石岩、巨晶矿物等幔源捕虏体而著称,同时它又是国内最丰富的壳-幔边界麻粒岩相和榴辉岩相捕虏体产地。这些捕虏体大小从几厘米到几十厘米,具典型的层

状构造,它们与橄榄岩、辉石岩类同时作为玄武岩的偶然包体,有时在一块手标本上可以同时出现不同类型的捕虏体。最常见的是下地壳麻粒岩相斜长辉石岩类,以黑、白相间的单斜辉石和斜长石条带构成典型的层状堆晶构造。同时还发现以薄层状(厚约5—6 cm)贯穿于上地幔顶部尖晶石二辉橄榄岩中的榴辉岩相石榴辉石岩,以其顶、底面都有一薄层尖晶石二辉橄榄岩为证(由于尖晶石二辉橄榄岩易碎脱落难以保存)。必须指出榴辉岩相石榴辉石岩不同于被玄武岩直接包裹的具火成结构特征的辉石岩类捕虏体。榴辉岩相石榴辉石岩的石榴石已蚀变,风化面呈灰白色麻点状,黑色单斜辉石较新鲜,在榴辉岩相石榴辉石岩与尖晶石二辉橄榄岩接触边界有少量被底侵岩浆卷入的橄榄石。这一重要发现说明,底侵岩浆形成的堆晶岩并不局限于下地壳底部,还侵位于上地幔顶部,代表了一套典型的壳-幔边界的过渡带岩石。在麻粒岩相斜长辉石岩和榴辉岩相石榴辉石岩岩石抛光剖面上灰白色斜长石、黑色单斜辉石和褐红色的粒状石榴石(大者粒径可达5—8 mm)构成典型的层状堆晶构造(图1)。

## 2 岩石类型

根据捕虏体的产状、结构和矿物组成,汉诺坝来自壳-幔边界的捕虏体岩石具有麻粒岩相或榴辉岩

国家自然科学基金资助项目和中国科学院知识创新工程项目。  
本文于2000年12月16日收到。

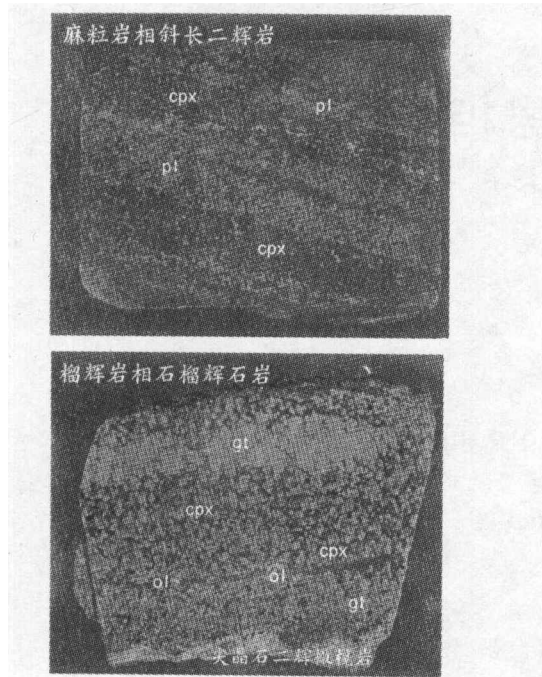


图1 汉诺坝具典型层状堆晶构造的麻粒岩相和榴辉岩相岩石

相变质特征的镁铁质堆晶岩,但与习惯上的麻粒岩和榴辉岩有异同之处,故它们属麻粒岩相或榴辉岩相岩石,主要包括下地壳底部的麻粒岩相镁铁质堆晶岩(约占90%以上)和上地幔顶部的榴辉岩相镁铁质堆晶岩(以下文中简称斜长辉石岩和石榴辉石岩)。麻粒岩相堆晶岩又以斜长二辉岩占绝对优势(初步估计约占壳-幔边界岩石捕虏体总量的80%—90%),其次是斜长单斜辉石岩,以及少量的斜长石榴辉石岩,麻粒岩相堆晶岩矿物组合可以表示为:斜长石+单斜辉石±斜方辉石±石榴石,最常见的是斜长石+单斜辉石+斜方辉石三相矿物组合。榴辉岩相堆晶岩即石榴辉石岩的矿物组合为:单斜辉石+石榴石。它们都具有典型的不等粒粒状变晶结构,大多数矿物晶面为弯曲的接触面,并有受应力影响导致的颗粒压扁拉长和定向排列的结构特征。岩石中无含水矿物,即便有少量金云母、角闪石等也是后期蚀变的产物。矿物内一般无或极少矿物包裹体,但含有流体包裹体。

### 3 岩石矿物学与平衡条件

麻粒岩相和榴辉岩相堆晶岩的矿物组合类型、组成百分含量与化学成分均存在系统变化,以麻粒岩相与榴辉岩相之间的矿物学类型与成分差别最为显著。麻粒岩相堆晶岩的 $\text{SiO}_2$ 和 $\text{MgO}$ 分别变化于45%—55%和5%—19%,榴辉岩相堆晶岩的 $\text{SiO}_2$

和 $\text{MgO}$ 分别变化于45%—47%和19%—21%,后者较前者更贫 $\text{SiO}_2$ 富 $\text{MgO}$ 和成分变化很小。尽管它们的 $\text{SiO}_2$ 都在基性范围(45%—55%),但岩石中以镁铁矿物为主(除了少数长英质麻粒岩),岩石的 $\text{MgO}$ 含量一般大于10%(变化于5%—22%),其主体斜长二辉麻粒岩的 $\text{MgO}$ 约15%左右,故应为镁铁质麻粒岩相岩石,不宜称基性麻粒岩。

麻粒岩相和榴辉岩相堆晶岩的主要矿物包括斜长石、单斜辉石、斜方辉石、石榴石,在中酸性麻粒岩相岩石中可出现石英和碱性长石,副矿物有金红石、磷辉石、锆石等,主要出现于下地壳底部麻粒岩相岩石中。

斜长石只出现于下地壳麻粒岩相堆晶岩中,其成分变化最大,从培长石经拉长石变化到中长石( $\text{An}_{79-34}$ ),但主要集中在中-拉长石范围( $\text{An}_{40-70}$ )。单斜辉石可出现于麻粒岩相和榴辉岩相堆晶岩中, $\text{MgO}$ 、 $\text{FeO}$ 、 $\text{Cr}_2\text{O}_3$ 含量存在明显区别, $\text{MgO}$ 分别为10%—14%和16%—17%, $\text{FeO}$ 分别为6%—10%和2%—3%, $\text{Cr}_2\text{O}_3$ 分别为0%—0.3%和0.3%—0.6%,分别属于次透辉石( $\text{Wo}_{44-50}\text{En}_{34-43}\text{Fs}_{11-18}$ )和透辉石( $\text{Wo}_{44-47}\text{En}_{49-50}\text{Fs}_{4-5}$ )。它们又都以黑-褐黑色和相对贫 $\text{Cr}_2\text{O}_3$ 有别于上地幔橄榄岩中呈翠绿色、相对富 $\text{Cr}_2\text{O}_3$ 的铬透辉石,上地幔尖晶石二辉橄榄岩和方辉橄榄岩中铬透辉石的 $\text{Cr}_2\text{O}_3$ 一般变化于0.5%—1.0%和>1%(Fan and Hooper, 1989)。斜方辉石出现于麻粒岩相斜长二辉岩和苏长岩中,前者斜方辉石成分变化很窄( $\text{En}_{70-75}$ ),属古铜辉石,后者斜方辉石为紫苏辉石( $\text{En}_{60-61}$ )。上地幔橄榄岩中的斜方辉石属更富 $\text{MgO}$ 的顽火辉石,类似于共生的铬透辉石,其 $\text{Cr}_2\text{O}_3$ 含量也较高(0.3%—0.5%),而下地壳麻粒岩相斜长二辉岩和苏长岩的 $\text{Cr}_2\text{O}_3$ 均<0.2%。石榴石可分别出现于榴辉岩相石榴辉石岩和麻粒岩相斜长石榴辉石岩中,前者石榴石富 $\text{MgO}$ (21%—25%)贫 $\text{FeO}$ (19%—21%),以镁铝榴石端员分子( $\text{Pyr}_{73-83}\text{Alm}_{12-15}$ )为主;后者石榴石贫 $\text{MgO}$ (8%—16%)富 $\text{FeO}$ (6%—8%),以铁铝榴石端员分子( $\text{Pyr}_{33-58}\text{Alm}_{29-44}$ )为主。石榴辉石岩中的橄榄石与其围岩尖晶石二辉橄榄岩的橄榄成分一致( $\text{Fo}_{88-90}$ ),表明为底侵岩浆从围岩尖晶石二辉橄榄岩带入的,且橄榄石主要沿石榴辉石岩与尖晶石二辉橄榄岩接触的边界带上即为明证。

麻粒岩相和榴辉岩相堆晶岩的矿物成分之间,以及与全岩化学成分存在协变:随全岩成分 $\text{MgO}$ 增加,岩石中的镁铁矿物辉石百分含量增加,同时辉石

的 MgO 含量及顽火辉石分子、石榴石的 MgO 含量及镁铝榴石分子、斜长石的钙长石分子也同步增加,显示了堆晶岩的化学变化特征。斜长辉石岩和石榴辉石岩捕虏体中的单斜辉石分别为次透辉石和透辉石,石榴石分别为铁铝榴石 (Py<sub>R33-58</sub>) 和镁铝榴石 (Py<sub>R73-83</sub>) 明显区别于华北太古代地体麻粒岩中相对富 FeO (13%—14%) 的单斜辉石 (属普通辉石) 和石榴石 (Py<sub>R20</sub> 左右)。石榴辉石麻粒岩的单斜辉石、石榴石矿物成分与上地幔石榴石橄榄岩中的相应矿物成分有类似之处<sup>[8]</sup>, 指示其上地幔成因属性。

根据麻粒岩相和榴辉岩相堆晶岩产状、矿物学特征和平衡温压估计结果表明,斜长辉石岩和石榴辉石岩的平衡温度分别为 900—1000℃ 和 1 065—1 080℃, 形成压力分别为 1.0—1.2 GPa 和 1.3—1.5 GPa (分别相当于 33—40 km 和 40—45 km 深度)<sup>[5,7]</sup>, 提出岩浆底侵于下地壳底部和上地幔顶部不同深度。根据地震反射获得的该区地震莫霍面深度约为 42 km<sup>[9]</sup>, 从榴辉岩相堆晶岩平衡条件估计, 壳-幔过渡带底界 (~45 km) 应略大于地震莫霍面。

#### 4 REE 地球化学

图 2 为壳-幔过渡带代表性麻粒岩相和榴辉岩相堆晶岩及其上地幔橄榄岩、辉石岩、地体麻粒岩的稀土元素分布模式。REE 分布特征与岩石学密切相关, 麻粒岩相富斜长石的斜长辉石岩 (QY9805) 为 LREE 富集和明显的正 Eu 异常, 榴辉岩相石榴辉石岩 (WD951) 呈现单斜辉石与石榴石叠加的 REE 特征, 即轻、中 REE 呈 V 型和重 REE 高而平缓的分布模式。与其极为相似的上地幔尖晶石二辉橄榄岩 (DM9808) 的 REE 分布模式接近球粒陨石位居最下

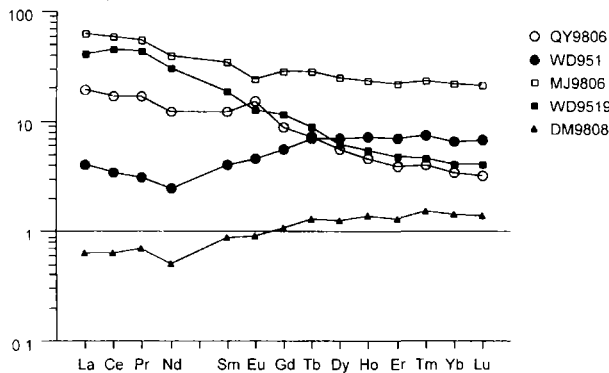


图 2 壳-幔过渡带代表性麻粒岩相和榴辉岩相堆晶岩及其上地幔橄榄岩、辉石岩、地体麻粒岩的稀土元素分布模式

○麻粒岩相斜长二辉岩(捕虏体); ●榴辉岩相石榴辉石岩(捕虏体); □斜长辉石麻粒岩(地体); ■单斜辉石岩(捕虏体); ▲尖晶石二辉橄榄岩(捕虏体)

方,其 LREE 略亏损,中、重 REE 略显富集。具火成结构的单斜辉石岩 (WD9519) 显示轻、重稀土强烈分离的陡倾斜分布模式,其 LREE 高达球粒陨石的 40—50 倍。蔓菁沟太古代地体斜长辉石麻粒岩 (MJ9806) 的 REE 最高,其相对平缓略负 Eu 异常的 REE 模式位居最上方。REE 分布模式从下地壳底部麻粒岩相堆晶岩的正 Eu 异常变化到上地幔顶部榴辉岩相的无 Eu 异常,显示了岩浆底侵成因的壳-幔过渡带镁铁质堆晶岩 REE 地球化学特点。

#### 5 年代学问题

20 世纪 90 年代以来国内陆续报道了一些赋存在火山岩中的下地壳麻粒岩相捕虏体<sup>[5,6,10-12]</sup>, 但要证明它们是岩浆底侵作用的产物, 捕虏体的年代学研究仍显不足。我们初次报道了汉诺坝下地壳麻粒岩相斜长辉石岩捕虏体的锆石 U-Pb 同位素年龄 (140 Ma-120 Ma)<sup>[6]</sup>, 提出华北地区侏罗纪晚期-白垩纪早期的岩浆底侵事件的年代学证据, 认为岩浆底侵作用的峰期为白垩纪早期 (124 Ma-120 Ma)。最近我们测定了岩浆底侵上地幔顶部的榴辉岩相石榴辉石岩的矿物-全岩 Sm-Nd 同位素等时线年龄为 310.3 ± 3.08 Ma, 这一初步结果正在进一步深入研究。说明岩浆底侵作用可能上溯到古生代石炭纪晚期, 显生宙以来岩浆底侵作用无疑是多期性的。Furlong 和 Fountain (1986) 与 Bohlen (1987) 都指出镁铁质麻粒岩相捕虏体可能代表早期玄武质岩浆底侵下地壳, 并一直延续到现代玄武质岩浆活动区, 表明其时代跨度可能很大<sup>[13,14]</sup>, 还需要在系统的岩石学与地球化学研究基础上, 进行高精度的年代学研究。

#### 6 高温高压波速实验研究

麻粒岩相和榴辉岩相堆晶岩的岩石学与地球化学特征提供了壳-幔过渡带化学组成的有效制约, 将这一结果与高温高压物性实验和地球物理深部探测结合起来, 可以更好地揭示大陆岩石圈壳幔结构与组成<sup>[15,16]</sup>。为此, 我们选择了不同类型具代表性的镁铁质堆晶岩以及地体麻粒岩, 在中国科学院地球化学研究所深部地球物质实验室的 YT-3000t 六面顶静态超高压装置上, 进行高温高压波速实验, 实验结果及根据样品在原位 (in situ) 条件下的弹性波速计算公式<sup>[17,18]</sup> 计算结果列于表 1。由镁铁质堆晶麻粒岩和地体麻粒岩的化学组成与样品原位温压条件下的纵波, 可以反演汉诺坝地区壳-幔过渡带的物质组成与结构特征。

3个麻粒岩相斜长二辉岩和2个榴辉岩相石榴辉石麻粒岩的 $V_p$ 均大于7.0 km/s(变化于7.17—7.72 km/s),处于壳-幔过渡带的 $V_p$ (变化于6.8—7.8 km/s)和麻粒岩镁铁质岩的 $V_p$ (变化于7.0—7.5 km/s)范围<sup>[19,20]</sup>。这与我国华北地区下地壳相当普遍存在 $V_p > 7$  km/s的高速层<sup>[21-24]</sup>互为印证,高 $V_p$ 下地壳均与强烈的岩浆底侵作用有关。下地壳的 $V_p$ 还因构造环境、演化历史和化学组成不同而变化很大(6.4—7.4 km/s),汉诺坝镁铁质堆晶岩捕虏体的 $V_p$ 均在7.0 km/s以上,而蔓菁沟一个太古代地体斜长辉石麻粒岩的 $V_p$ 仅为6.58 m/s。Bohlen(1987)曾设想有一个镁铁质层状下地壳,捕虏

体麻粒岩平衡压力一般大于地体麻粒岩,故较典型的麻粒岩相地体位于较高水平<sup>[14]</sup>。支持这一理论的证据之一是地震反射剖面显示在大于30 km或更大深度的 $V_p$ 大于7 km/s,表明下地壳存在密度较大的镁铁质物质<sup>[25,26]</sup>。因此,本文的资料支持岩浆底侵于壳-幔边界(下地壳底部和上地幔顶部)形成汉诺坝镁铁质堆晶岩,并经麻粒岩相-榴辉岩相变质,终被火山作用抛到地表。而华北克拉通太古代地体麻粒岩经历了漫长的地史演化才抬升到地表,能否代表现今上部下地壳,还是一个需要商榷的问题。

表1 代表性麻粒岩相和榴辉岩相堆晶岩与地体麻粒岩高温高压 $V_p$ (km/s)实验结果

产状	样品名称	恒温 $V_p$ (室温,PGPa)	恒压 $V_p$ (T°C,PGPa)	原位 $V_p$
地体	斜长辉石麻粒岩	6.69(0.8)	6.55(842,0.9)	6.58
捕虏体	麻粒岩相斜长二辉岩	7.28—7.46(1.2)	6.60—6.78(900—1000,1.2)	7.17—7.30
捕虏体	榴辉岩相石榴辉石岩	7.80—7.84(1.4)	6.54—7.32(1 000—1 100,1.4)	7.28—7.72
	下地壳 <sup>[19]</sup>	$V_p = 6.4—7.4$		
	壳-幔过渡带 <sup>[27]</sup>	$V_p = 6.8—7.8$		
	上地幔 <sup>[19]</sup>	$V_p = 8.0—8.3$		

## 7 讨论

汉诺坝麻粒岩相和榴辉岩相堆晶岩捕虏体,证实了岩浆底侵壳-幔边界附近形成镁铁质下地壳<sup>[20]</sup>和在上地幔顶部由榴辉岩相镁铁质石榴辉石岩与超镁铁质尖晶石二辉橄榄岩混合组成的过渡带<sup>[28]</sup>。研究工作仍然是阶段性的,给我们的启迪和问题并存,需要再探索:

(1)汉诺坝新生代玄武岩中的麻粒岩相和榴辉岩相堆晶岩捕虏体,是由幔源岩浆底侵于壳-幔边界形成的镁铁质堆晶岩,经历了下地壳底部麻粒岩相变质作用和上地幔顶部榴辉岩相变质作用,直接提供了壳-幔过渡带存在的岩石学证据。

(2)显生宙以来,经历了多期岩浆底侵作用,特别是中生代晚期(晚侏罗纪—早白垩纪)的岩浆底侵作用是大陆伸展构造区地壳垂向增生和壳-幔相互作用的重要方式。

(3)从麻粒岩相和榴辉岩相堆晶岩捕虏体平衡温压条件推测,该区壳-幔过渡带底界(岩石学莫霍面?)深度(45 km左右)应略大于地震莫霍面深度(42 km)。

(4)根据麻粒岩相和榴辉岩相堆晶岩捕虏体的主体是镁铁质堆晶岩(>90%),中酸性麻粒岩不及

10%,推测底侵于壳-幔边界的原始岩浆可能为镁铁质岩浆( $SiO_2$ —50%, $MgO$ —15%)。

(5)晚侏罗纪—早白垩纪(145—140 Ma)是汉诺坝地区燕山期岩浆活动的高潮期,在张家口及其邻近地区就有大量这一时期的火山岩和燕山期花岗岩。它们与地表中生代安山岩、燕山期花岗岩、新生代玄武岩又是什么关系?地表与深部、底侵与喷出的岩浆活动存在怎样的联系需要继续追寻。

## 参 考 文 献

- [1] Yoder H S, Tilley C E. Origin of basalt magmas: an experimental study of natural and synthetic rock systems. *J. Petrol.*, 1962, 3: 342—532.
- [2] Ito K, Kennedy G C. The fine structure of the basalt-eclogite transition. In: B. A. Morgan (ed.). *Fiftieth Anniversary Symposia. Mineral. Soc. Am. Spec.*, 1970, Paper 3.
- [3] Ringwood A E, Green D H. An experimental investigation of the gabbro-eclogite transformation and some geophysical consequences. *Tectonophysics*, 1966, 3:383—427.
- [4] Fountain D M, Salisbury M H. Exposed cross-sections through the continental crust: implications for crustal structure, petrology and evolution. *Earth. Planet. Sci. Lett.*, 1981, 56:263—277.
- [5] 樊祺诚,刘若新. 汉诺坝玄武岩中高温麻粒岩捕虏体. *科学通报*, 1995, 41(3):235—238.
- [6] 樊祺诚,刘若新,李惠民等. 汉诺坝捕虏体麻粒岩锆石年代学与稀土元素地球化学. *科学通报*, 1998, 43(2):133—137.

- [7] 樊祺诚,隋建立,刘若新. 汉诺坝榴辉岩相石榴辉石岩-岩浆底侵作用新证据. 岩石学报, 2001, 1(出版中).
- [8] Fan Q C, Hooper P R. The mineral chemistry of ultramafic xenoliths of eastern China: Implications for upper mantle composition and the paleo-geotherms. *J. Petrology*, 1989, **30**: 1 117—1 158.
- [9] 祝治平,张先康,张建狮等. 北京-怀来-丰镇剖面地壳上地幔构造与速度结构研究. 地震学报, 1997, **19**(5): 499—505.
- [10] 周新民,于津海,徐夕生. 女山玄武岩中麻粒岩捕虏体的发现与意义. 科学通报, 1992, **13**: 1 118—1 201.
- [11] 郭锋,范蔚茗,林炯. 湖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): 1 661—1 663.
- [12] 韩宝福,王学潮,何国琦等. 西南天山早白垩纪火山岩中发现地幔和下地壳捕虏体. 科学通报, 1998, **43**(23): 2 544—2 546.
- [13] Furlong K P, Fountain D M. Continental crustal underplating consideration and seismic-petrologic consequences. *J. Geophys. Res.*, 1986, **91**(B8): 8 285—8 294.
- [14] Bohlen S R. Pressure-temperature-time paths and a tectonic model for the evolution of granulites. *J. Geol.*, 1987, **95**: 617—632.
- [15] Rudnick R L, Fountain D M. Nature and composition of the continental crust: A lower crustal perspective. *Rev. Geophys.*, 1995, **33**: 267—309.
- [16] Kern H, Schenk V. Elastic velocities in rocks from a lower crustal section in southern Calabria (Italy). *Phys. Earth Planet. Inter.*, 1985, **40**: 147—160.
- [17] Kern H, Schenk V. A model of velocity structure beneath Calabria, southern Italy, based on laboratory data. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 1988, **87**: 325—337.
- [18] Holbrook W S, Mooney W D, Christensen N I. The seismic velocity structure of the deep continental crust. In: Fountain D M et al eds. *Continental Lower Crust*, Elsevier, 1992, 1—34.
- [19] Rudnick R. Xenoliths-Samples of the lower continental crust. In: Fountain D M et al. eds, *Continental Lower Crust*. Elsevier, 1992, 269—316.
- [20] 孙武城,李松林,杨玉春. 华北东部地区地壳结构的初步研究. 地震地质, 1985, **7**(3): 1.
- [21] 周国藩,吴蓉元. 利用重力资料研究我国东部地区地壳深部构造和地壳结构特征. 地球科学-中国地质大学学报, 1989, **6**: 326—332.
- [22] 刘昌铨,嘉世旭,杜官恒. 江苏响水-内蒙古满都拉地学断面地震折射测深结果. 地震地质, 1991, **12**: 193—204.
- [23] 袁学诚. 中国东部岩石圈的构造及其中新生代以来的构造演化. 壳幔相互作用与岩石圈演化学术讨论会论文摘要集, 3—4, 北京, 1997.
- [24] Weaver T, Sadowiak P. A relationship between crustal thickness and mean crustal velocity. *Tectonophysics*, 1989, **170**: 159—163.
- [25] Jackson I, Rudnick R L, O'Reilly S Y et al. Measured and calculated elastic wave velocities for xenoliths from the lower crust and upper mantle. *Tectonophysics*, 1990, **173**: 207—210.
- [26] White R S. *The earth crust and lithosphere*. *J. Petrol, Special Lithosphere Issue*, 1988, 1—10.
- [27] O'Reilly S Y, Griffin W L. Moho and petrologic crustal-mantle boundary coincide under southeastern Australia: Comment. *Geology*, 1994, **22**: 666—667.

## THE GRANULITE-ECLOGITE FACIES CUMULATE XENOLITHS IN HANNUOBA AREA —THE EVIDENCE OF THE CRUST - MANTLE TRANSITIONAL ZONE

Fan Qicheng Sui Jianli

(Institute of Geology, China Seismological Bureau, Beijing 100029)

**Abstract** The typical occurrence, layered cumulative structures, mineralogy, petrology, chronology, REE geochemistry and velocity experience under high temperature and pressure of the granulite-eclogite facies cumulate xenoliths of Cenozoic basalt in Hannuoba area indicate that they are mafic cumulate formed by the mantle-derived magma underplating to the crust-mantle boundary and have undergone metamorphism of granulite-eclogite facies since Phanerozoic. The granulite-eclogite facies cumulate xenoliths is the evidence of the continental crust vertical growing and the existing of the crust-mantle transitional zone.

**Key words** the granulite-eclogite facies cumulate xenoliths, crust-mantle transitional zone, Hannuoba