

# 一种古特提斯演化的动力学模型

## ——来自中国古特提斯蛇绿岩的证据

孙 勇,陈 亮,冯 涛,高 明,何艳红

(西北大学 大陆动力学教育部重点实验室,陕西 西安 710069)

**摘要:**东古特提斯的演化是中国大地构造的关键问题之一。中国古特提斯蛇绿岩的综合对比显示,不同地区的蛇绿岩在源区特征和演化时序上体现的相当一致,岩浆源区缺乏来自俯冲板片的成分而基本是洋中脊型(MORB)的,这使古特提斯蛇绿岩区别于世界上大多数蛇绿岩,因而也暗示古特提斯洋盆的演化具有自己的特点,应当把它作为具有时空分布和独立动力学机制的热演化系统。提出了一种建立在洋盆演化和深部动力学过程之上的工作模型。

**关键词:**古特提斯;蛇绿岩;构造演化;地幔柱

**中图分类号:**P541 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-274 X (2002)01-0001-06

### 1 简介

作为残留的洋壳和地幔岩组合,蛇绿岩是古缝合带存在的直接证据,因此蛇绿岩和蛇绿混杂岩带的空间分布可以代表已经消失的古洋盆闭合的特征。对于中国复杂而经历强烈改造的大地构造面貌,残留的不同时代和不同环境的蛇绿岩和蛇绿混杂岩可以限定地质演化历史中的洋陆转换的关键过程。横贯中国大陆的秦岭-祁连-昆仑造山系或称“中央造山带”是具有长期演化历史的复合造山带,不同程度地记录了晋宁、加里东和印支期的构造事件。

古特提斯洋在晚古生代一早中生代的相继闭合,大致奠定了东亚的基本构造面貌。中国境内古特提斯主要位于青藏和川滇一带,体现为包含围绕中小型陆块的多分支洋盆,它的陆续封闭导致了复杂的构造面貌。特提斯由中亚帕米尔地区延入境内,经过青藏北部在青藏高原东部向南急转经昌宁-孟连主缝合带通往东南亚(见图1)。近年来,南秦岭勉略带存在晚古生代洋盆已经得到了证实,黑沟峡地区的裂谷火山岩和洋中脊火山岩(N-MORB)的地球化学和同位素年代学研究<sup>[1,2]</sup>表明,勉略地区经历了泥盆纪的拉张裂解造洋过程和晚二叠-早三叠的碰

撞造山事件,在蛇绿混杂岩带中发现的放射虫硅质岩也证实该洋盆在石炭纪已存在<sup>[3]</sup>,暗示古特提斯的一支可能存在于秦岭地区。但是,由于勉略带西部为后期沉积和变形的强烈改造,与西南部古特提斯主洋盆的关系随之成为一个亟待解决的问题。阿尼玛卿构造带东部德尔尼蛇绿岩的发现<sup>[4]</sup>,为古特提斯洋的延伸和连通提供了证据。

阿尼玛卿构造带是中央造山带的一部分,位于昆仑-秦岭两大巨型复合造山带之间,由于受其不同形成机制和演化过程的影响,同时它又是青藏高原构造域近东西向特提斯构造带中的一支,西方学者倾向于把阿尼玛卿构造带不作为缝合带对待。如:1985年中英青藏高原综合地质考察报告称:“没有足够的证据认为在昆仑地体内部有一条缝合带”<sup>[5]</sup>;Sengor认为阿尼玛卿山不是严格意义上的缝合带,但在早三叠世可能代表了欧亚大陆的边缘<sup>[6]</sup>。

### 2 蛇绿岩基本地质特征

德尔尼蛇绿岩位于阿尼玛卿构造带东部,青海省玛沁县西南,呈构造岩片出露于哈布切特韧性剪切带与东倾沟-甲里哥-马耳强韧性剪切带之间的构造混杂带中、德尔尼铜矿附近(见图2)。岩片东西长

收稿日期:2001-12-20

基金项目:国家自然科学基金资助项目(49732080)

作者简介:孙 勇(1950-),男,陕西南郑人,西北大学教授,博士生导师,从事蛇绿岩、麻粒岩和造山带理论研究。

约 17 km, 南北宽约 2 km, 其北、南分别为哈布切特韧性剪切带和东倾沟-甲里哥-马耳强韧性剪切带所围限。其中, 甲里哥剖面出露比较完全。

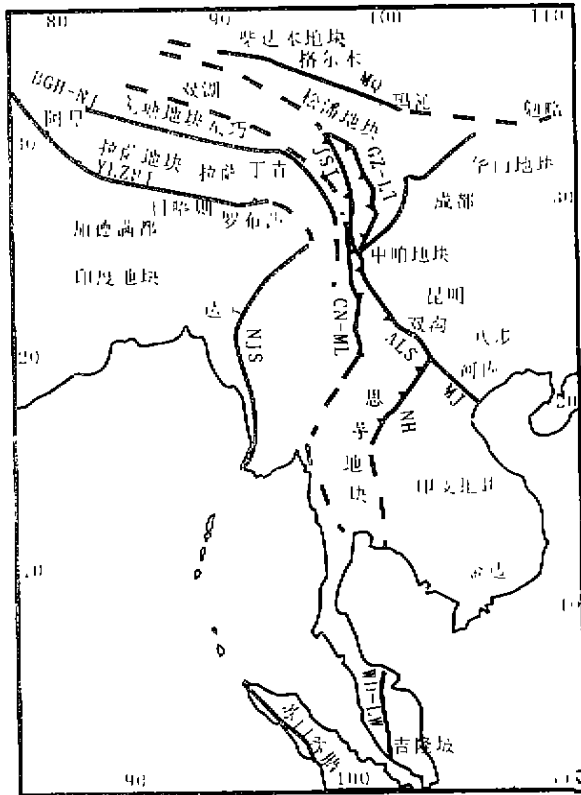


图 1 特提斯蛇绿岩分布图(据张旗和周国庆, 有改动, 2000 年)

Fig. 1 Distribution of Tethyan ophiolites in China (after Zhang and Zhou, 2000)

ALS 哀牢山蛇绿岩带 JSJ 金沙江蛇绿岩带 CN-ML 昌宁-孟连蛇绿岩带 GZ-LT 甘孜-理塘蛇绿岩带 MQ 玛沁蛇绿岩带 MJ 马江蛇绿岩带 NH 难河蛇绿岩带 WD-LW 文东-劳勿蛇绿岩带 BGH-NJ 班公湖-怒江蛇绿岩带

甲里哥蛇绿岩剖面由 3 个单元组成。下部单元为含辉石岩透镜体的变质橄榄岩, 岩石类型以斜辉橄榄岩和二辉橄榄岩为主, 纯橄岩少见, 经历普遍而强烈的蛇纹石化、硅化和碳酸盐化而蚀变为蛇纹岩和碳酸盐化蛇纹岩等。变质橄榄岩镜下呈网环结构, 主要矿物大部分已经蚀变, 保留橄榄石和斜方辉石的假象, 仅有少量残晶, 蛇纹石多呈网脉状, 以纤蛇纹石为主。辉石岩出露比较有限, 由 90% 以上的辉石和少量的基性斜长石组成, 辉石基本上已蚀变为绿泥石和绿帘石, 仅保留辉石假象。中部单元为中-粗粒辉长岩, 均一块状, 辉石约占 60%, 基性斜长石占 40%, 辉石经历了比较充分的蚀变, 镜下特征与辉石岩中的辉石基本一致。上部单元为火山岩, 已变质成为绿泥钠长绿帘片岩, 但片理化较弱, 整体上呈均一块状, 成分也比较一致, 无酸性分异产物。

上述 3 个单元彼此以断裂相接, 依次由北向南排列。一套黑色硅泥质深水沉积岩断续出露于玄武岩北侧和哈布切特韧性剪切带内部, 以强烈的韧性变形和密集的片理区别于蛇绿岩的成员, 推测是在蛇绿岩仰冲就位过程中加入的洋壳顶部沉积物。

### 3 蛇绿岩的地球化学特征

为探讨其形成环境, 在德尔尼蛇绿岩各岩石单元中采集了约 70 件样品, 分别来自甲里哥、哈仔里以西和德尔尼铜矿 3 个剖面, 剖面彼此相距大于 5 km, 可以保证样品的代表性。

#### 3.1 岩类学及岩浆演化趋势

10 件样品中的 6 件在岩类判别图中投入玄武岩区域, 另有 2 件投入玄武安山岩区, 2 件投入粗面安山岩区, 但都紧靠与玄武岩区域的界限(图略), 因此可认为玄武岩是样品的主体。

样品在 AFM 图中的落点集中在有限的范围内, 但  $Fe^+$  的含量随 Mg 的增加而减少, 演化趋势体现拉斑系的典型特征。

#### 3.2 大地构造环境判别

为进一步判断样品与构造环境之间的关系, 采用了多种基于稳定微量元素的判别图解:  $TiO_2$ - $MnO-P_2O_5$ , Nb-Zr-Y, Ti-Zr-Y, Ti-Zr-Sr, Ti-Zr, 在上述图解中火山岩样品均投入 MORB(N-MORB, OFB) 区域。

Nb 和 La 均为强不相容元素, 分配系数彼此接近, 它们的元素比值不易受岩浆部分熔融、结晶分异、海水蚀变和变质的影响, 从而可以有效地指示源区特征。因此笔者选择了文献[7]蛇绿岩构造环境判别图解  $La/Nb-La$  和  $Ba/Nb-Ba$ , 样品投点均落入 MORB 区域, 而且体现出显著的集中性趋势。

#### 3.3 稀土元素特征

样品的稀土元素分异较弱, 稀土总量大约相当于球粒陨石的 15 倍, 变火山岩与辉长岩的分配特征基本一致<sup>[8]</sup>。  $(La/Yb)_N$  平均为 0.45,  $(Ce/Yb)_N$  平均为 0.57, 球粒陨石标准化分配图(图略)显示轻稀土亏损, 曲线光滑无 Eu 异常, 表明岩浆没有经历分异过程, 与剖面中无中酸性分异产物相一致, 具备典型的 N-MORB 稀土地球化学特征, 说明岩浆来自亏损的软流圈地幔。

德尔尼蛇绿岩上、中部单元地球化学特征说明, 蛇绿岩生成于浅部扩张中心环境, 岩浆未受壳源物质的混入, 经历了程度高且稳定的部分熔融过程, 为



变形方面的证据显示早二叠是洋盆关闭的时间,因而德尔尼蛇绿岩和下大武岛弧火山岩的形成年龄之差(80 Ma)是洋盆扩张时间的最小值。如果洋脊在这段时间内保持 1~2 cm/a 的半扩张速率,增生洋壳的规模就可达到 1 600~3 200 km。

正常洋脊蛇绿岩(N-MORB)在阿尼玛卿构造带东部存在的本身就意味着洋盆有继续延展的可能,而早石炭世洋盆的存在为勉略带与阿尼玛卿带相连提供了有利的证据,同时西南的古特提斯主洋盆也很可能与阿尼玛卿带及勉略带相连。这样,德尔尼蛇绿岩所在的位置接近 3 支古特提斯洋盆的交接部位,可以代表初始裂解的中心位置。

## 5 古特提斯蛇绿岩的对比

据前人研究,中国境内主要的古特提斯蛇绿岩带包括昌宁-孟连带、金沙江-哀牢山带、甘孜-理塘带以及阿尼玛卿带(或玛沁带)。由于德尔尼蛇绿岩的位置恰好处于中国古特提斯构造带的中心位置,蛇绿岩带的变质玄武岩普遍具 N-MORB 特征,暗示洋内俯冲作用不发育,因而不产生与俯冲有关的俯冲带之上型(SSZ)蛇绿岩<sup>[11]</sup>。

综合研究表明<sup>[12]</sup>,昌宁-孟连带是古特提斯的主洋盆,以铜厂街蛇绿岩为代表。其带内普遍发育洋岛火山岩,规模远大于蛇绿岩中的洋脊火山岩,时代从早石炭一直延续到晚二叠一早三叠,部分洋岛火山岩也显示 DUPAL 异常<sup>[11,12]</sup>。部分洋脊火山岩具有低而且不稳定的  $\epsilon_{\text{Nd}}$  值<sup>[12]</sup>,据认为是洋岛火山岩(OIB)和 MORB 的源区物质混合的结果,类似现代印度洋 MORB,暗示扩张中心附近存在地幔柱的活动。孟连曼信地区发育有火山岩-硅质岩序列,已发现丰富的早石炭放射虫组合,可证明至少在早石炭洋盆就已存在<sup>[12]</sup>。晚石炭一二叠,古特提斯洋盆进入俯冲消减阶段,以伴随俯冲的蓝闪石云母片岩为代表,蓝闪石<sup>19</sup>Ar-<sup>15</sup>Ar 年龄谱中包含 279 Ma 和 214 Ma 的视年龄,前者与澜沧江岛弧火山活动的高峰时期一致,可代表俯冲的时代,后者与临沧碰撞花岗岩的侵位时间一致,可能与挤压碰撞有关<sup>[12]</sup>。

金沙江-哀牢山带位于扬子西缘,以德钦白马雪山蛇绿混杂岩带和双沟蛇绿岩为代表,前者的斜长花岗岩中得到了 340±3 Ma 和 294±4 Ma 的锆石 U-Pb 年龄<sup>[13]</sup>,可以代表蛇绿岩的形成年龄。双沟蛇绿岩研究程度较高,玄武岩相当于 N-MORB 和 E-MORB,并具有 DUPAL 异常,可能是由亏损地幔端

员(DMM)和富集地幔 I(EM I)混合形成的<sup>[14]</sup>,已有的年代学数据包括辉长岩单斜辉石<sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar 年龄 339.2±13.6 Ma,辉长岩锆石 U-Pb 年龄 362±41 Ma,斜长花岗岩锆石 U-Pb 下交点年龄 328±16 Ma。在双沟以南可见晚三叠玉碗水组底砾岩中含超镁铁质砾石,说明蛇绿岩在晚三叠世之前就位。

甘孜-理塘带位于松潘-甘孜地块和中咱地块之间,演化较为迅速。其蛇绿岩多以混杂岩带形式出现,熔岩和辉长岩均为 LREE 轻微富集型,相当于 E-MORB<sup>[15]</sup>。这说明洋盆大致从中二叠至早三叠开始拉张,在晚三叠闭合。

南秦岭勉略带是秦岭复合造山带的一部分,由于后期逆冲推覆构造的广泛发育,勉略带中蛇绿混杂岩的分布局限于西部的康县-略阳和东部的随州一带,而且无完整剖面,以略阳黑沟峡蛇绿混杂岩<sup>[1,2]</sup>和随州周家湾蛇绿岩<sup>[16]</sup>为勉略带代表性的蛇绿岩剖面。

略阳黑沟峡出露的蛇绿混杂岩带比较典型,带内依次出现蛇纹岩、变质辉长岩、斜长花岗岩(团块)、夹辉长岩脉的变质基性火山岩,未见超基性堆积岩,经历了强烈的剪切变形和绿片岩相变质<sup>[1,2]</sup>;周家湾剖面宽约 2 000 m,由玄武岩、辉长岩、辉绿岩墙及少量凝灰岩组成<sup>[16]</sup>。

黑沟峡变质火山岩的地球化学显示典型的 N-MORB 特点,即稀土总量低,样品一致体现轻稀土亏损型球粒陨石标准化稀土模式,表明岩浆来自高度亏损的地幔源区。同位素研究表明:勉略地区的 MORB 型火山岩具有高的放射性铅同位素组成和 DUPAL 异常<sup>[2]</sup>;周家湾蛇绿岩剖面基性岩的微量元素环境判别均体现 MORB 特点,绝大多数样品具有平坦或轻稀土轻微富集的稀土配分模式<sup>[16]</sup>。

黑沟峡变质火山岩中获得了 242±21 Ma 的 Sm-Nd 全岩等时线年龄和 221±13 Ma 的 Rb-Sr 全岩等时线年龄<sup>[1]</sup>,二者在误差范围内一致,指示岩石的变质时代。结合区域地质资料,这一年龄可能代表了勉略洋盆闭合的时代<sup>[1]</sup>。

以上对比显示,中国境内古特提斯洋盆具有鲜明的特点。首先,古特提斯蛇绿岩都是 MORB 型的,而且以 N-MORB 为主,未受俯冲物质的影响,不同于世界上大多数蛇绿岩。这暗示古特提斯蛇绿岩都不是来自弧后盆地的,文献<sup>[11]</sup>认为这是洋内俯冲作用不发育,所有俯冲都发生在陆缘造成的,类似现今太平洋东岸的情况。究其原因,可能是俯冲洋壳板片较为年轻和热,以较低角度俯冲,造成挤压的应力

环境。其次,德尔尼蛇绿岩与其他古特提斯蛇绿岩在演化上具有明显的同时性特点。尽管初始裂解的时代缺乏可靠资料,早石炭世似乎是各古特提斯洋盆一致快速扩张的重要阶段,一系列蛇绿岩形成年龄均在 340~350 Ma 左右,晚二叠至早三叠(~250 Ma)记录了洋盆由持续扩张转向俯冲消减的过程。随后,各古特提斯洋盆均在晚三叠世闭合转入陆内变形阶段。这很难用巧合来解释,暗示不同位置的古特提斯洋盆是一个存在密切联系的整体,尽管每一个洋盆都独立具有完整的裂解—扩张—消减—闭合

过程,由于涉及不同性质的陆块(克拉通、微陆块),它们之间的同时性关系不可能在威尔逊旋回的框架内加以阐述,而应当引入统一的动力学背景为它们的同时演化提供驱动力。由于板块运动的动力最终来自地球深部的热释放导致的地幔对流过程,笔者设想东古特提斯洋盆可能具有独立和统一的大型热循环对流单元。文献[17]设想,上涌超级地幔柱可能由于在 670 km 不连续面受到阻碍而产生树状的分支结构,因此笔者采取这一结构来解释古特提斯演化过程中的同时性关系(见图 3)。

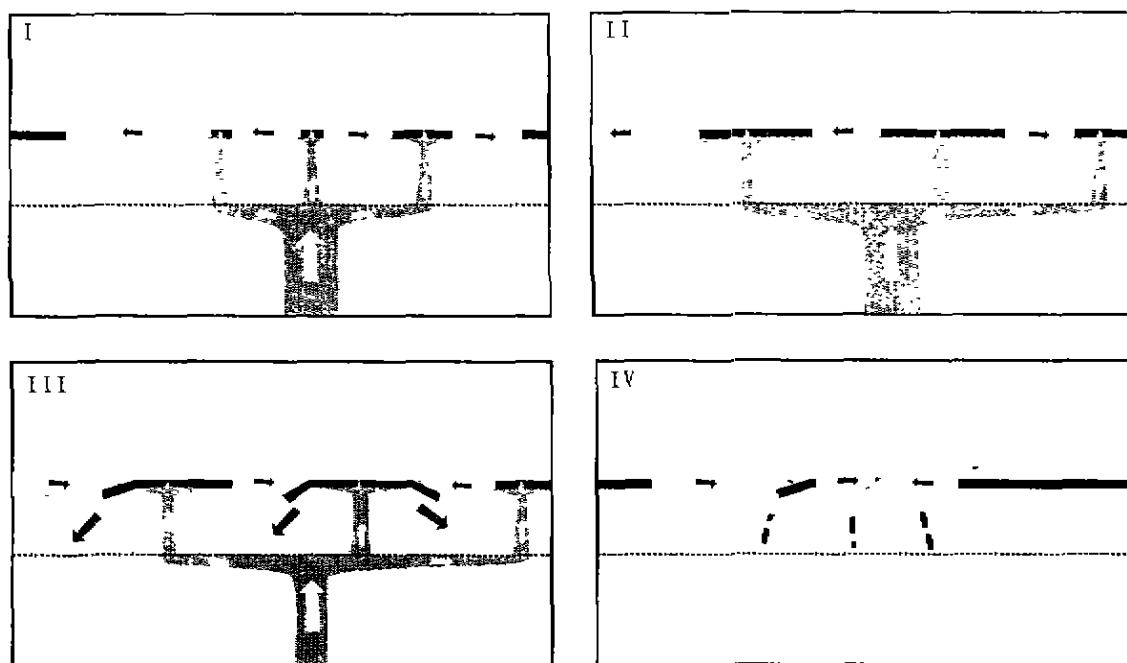


图 3 古特提斯演化与深部动力学过程对应关系的工作模型

Fig. 3 A working model on relationship between paleo-tethyan evolution and mantle process

阶段 I, 对应于威尔逊旋回的裂谷(东非)和初始洋盆阶段(红海)。海西期和前海西期是这一单元形成和扩展阶段,靠一大型地幔柱在上地幔中的分支对上覆陆块的热冲击作用导致了多重裂解造洋过程,同时以在多条洋脊形成新生洋壳的过程和洋脊附近的水-岩相互作用来释放热量。

阶段 II, 对应于威尔逊旋回的洋盆扩张阶段(大西洋)。洋盆的持续扩张导致这一对流单元在水平方

向上迅速扩展,推动两侧陆块分离,且洋壳表面积的迅速增加使地幔对流单元冷却的速度加快。

阶段 III, 对应于威尔逊旋回的洋盆收缩阶段(太平洋)。当这一对流单元提供的热量不足以保持洋盆的扩张时,附近其他对流单元的扩张使洋盆趋于收缩,对流单元也开始衰减,于是俯冲消减开始了。

阶段 IV, 对流过程停滞,洋盆闭合。

#### 参考文献:

- [1] 李曙光,孙卫东,张国伟,等. 南秦岭勉略构造带黑沟峡变质火山岩的年代学和地球化学[J]. 中国科学(D 辑), 1996, 26(3): 223-230.
- [2] 许继峰,于学元,李献华,等. 高度亏损的 N-MORB 型火山岩的发现: 勉略古洋盆存在的新证据[J]. 科学通报, 1997, 42(22): 2 414-2 418.
- [3] 殷洪福,杜运生,许继峰,等. 南秦岭勉略构造带中放射虫动物群的发现及古海洋意义[J]. 地球科学, 1996, 21(2): 184-190.
- [4] 陈 亮,孙 勇,裴先治. 德尔尼蛇绿岩: 青藏高原最北端的特提斯岩石圈残片[J]. 西北大学学报(自然科学版), 1999, 29

- (2), 141-144.
- [5] 邓万明, PEARCE J A. 拉萨至格尔木(1985)和拉萨至加德满都(1986)的蛇绿岩[A]. 中-英青藏高原综合地质考察队. 青藏高原地质演化[C]. 北京: 科学出版社, 1990. 33-63.
- [6] SENGOR A M C. Space-time patterns of magmatism along the tethysides: a preliminary study[J]. The Journal of Geology, 1993, 101: 37-81.
- [7] 李曙光. 蛇绿岩生成构造环境的 Ba-Th-Nb-La 判别图[J]. 岩石学报, 1993, 9(2): 124-129.
- [8] 陈亮, 孙勇, 柯小明, 等. 青海德尔尼蛇绿岩的地球化学特征及其大地构造意义[J]. 岩石学报, 2000, 16(1): 106-110.
- [9] 陈亮, 孙勇, 裴先治, 等. 德尔尼蛇绿岩<sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar 年龄: 青藏最北端古特提斯洋盆存在和延展的证据[J]. 科学通报, 2001, 46(5): 424-426.
- [10] 姜春发, 柴耀楚, 杨经绥. 昆仑开合构造[M]. 北京: 地质出版社, 1992.
- [11] 张旗, 周国庆. 中国蛇绿岩[M]. 北京: 科学出版社, 2000.
- [12] 钟大赉. 滇川西部古特提斯造山带[M]. 北京: 科学出版社, 1998.
- [13] 简平, 汪啸风, 何龙清, 等. 金沙江蛇绿岩中斜长花岗岩的 U-Pb 年龄及其地质意义[J]. 岩石学报, 1999, 15(2): 590-593.
- [14] 张旗, 周德进, 陈雨. 一种新的洋壳类型及其动力学意义[J]. 科学通报, 1996, 41(11): 1 025-1 027.
- [15] 尹集祥, 邓万明, 文世宣, 等. 青藏高原及邻区过渡地块前侏罗纪构造演化[A]. 潘裕生. 青藏高原岩石圈结构演化和动力学[C]. 广州: 广东科技出版社, 1998.
- [16] 董云鹏, 张国伟, 赖绍聪. 随州花山蛇绿构造混杂岩的厘定及其大地构造意义[J]. 中国科学(D辑), 1999, 29(3): 222-231.
- [17] MARUYAMA S. Plume tectonics[J]. J Geol Soc Japan, 1994, 100: 24-49. (编辑 张银玲)

## A dynamic model of Paleo-Tethyan evolution: evidences from Paleo-Tethyan ophiolite in China

SUN Yong, CHEN Liang, FENG Tao, GAO Ming, HE Yan-hong

(Key Laboratory of Continental Dynamics, Ministry of Education, Northwest University, Xi'an 710069, China)

**Abstract:** Comparison on geochemistry and geochronology of ophiolites from Paleo-Tethyan domain in China reveals that most of these ophiolites have roughly simultaneous evolution history and originate from similar geochemical reservoir (DMM+EMII), distinct from most of ophiolites originated from SSZ (super-subduction-zone) environments. The above preliminary result strongly suggests a connection between oceanic evolution of Paleo-Tethyan domain and an independent pre-existence mantle circular system.

**Key words:** Paleo-Tethy; ophiolite; tectonic evolution; mantle plume

### · 学术动态 ·

## “大陆的俯冲、拆离和减薄作用学术讨论会”在我校召开

由我校和中国科学院地质与地球物理研究所共同举办的“大陆的俯冲、拆离和减薄作用学术讨论会”日前在我校召开。来自国家自然科学基金委、科技部、中国科学院、中国地质科学院、国家地震局、北京大学、中国科技大学、中国地质大学等单位的 120 多位专家、学者出席了本次学术大会。

此次会议将国家重点基础研究发展规划(973)项目“大陆深俯冲作用”和中科院知识创新项目“华北东部盆山系统与战略资源预测”有机结合,围绕“超高压岩石的变质作用、流体演化和地球化学”、“大陆碰撞、伸展和抬升的构造过程”、“碰撞后过程、岩石圈减薄与岩浆活动”、“沉积作用”、“地球物理”、“岩浆活动、区域构造与成矿作用”等主题展开了广泛深入的学术交流和讨论,共同探讨有关大陆动力学和地幔动力学的最新研究进展和成果。会议期间,共进行了 60 多人次的大会专题学术报告和 20 多人次的分组学术报告,许多代表的学术报告被认为代表了国际地质学研究的前沿水平。我校孙勇教授等人和北京大学张立飞教授等共同承担的“中国西部大陆深俯冲作用的探究”二级课题取得重要新进展。我校张国伟院士、高山、刘良教授、陈丹玲、陈亮博士分别作了大会发言,受到与会代表的广泛关注和好评。

(薛 鲍)