

文章编号: 1009-3850(2005)04-0099-09

第 32 届国际地质大会聚焦特提斯地质研究进展

潘桂棠, 朱弟成, 尹福光, 江新胜, 耿全如, 廖忠礼, 王立全

(成都地质矿产研究所, 四川 成都 610082)

2004 年 8 月在意大利佛罗伦萨召开的第 32 届国际地质大会, 主题是从地中海地区看全球地质复兴——地质学、自然灾害和文化遗产, 11 个跨学科性前沿热点问题专门讲座会, 36 个口头发言和展示讨论的专题讨论会, 24 个专业学科的综合讨论会, 引起了赴会的世界各国 6000 多位地质学家的广泛讨论。

在各种大小会报告或展讲中, 涉及特提斯地质命题的有蛇绿岩及岩浆成因、特提斯造山带的蛇绿岩及缝合带、特提斯重建、喜马拉雅-青藏高原地质等专题, 口头报告及展讲 120 多篇中, 中国地质学家有 20 余篇。这些成果无论是研究内容、研究思路还是定性定量的研究深度和广度方面都有重要进展, 在此仅对国外地质学家的成果作简要综述。

1 特提斯蛇绿岩的类型、成因及形成环境

蛇绿岩是研究大陆造山带的切入点, 以蛇绿混杂岩为标志的弧-弧、弧-陆碰撞结合带是构成造山带的主导性构造格架, 同时又是了解大洋岩石圈向大陆岩石圈构造体制转换及动力学的重要途径。

威尔士加的夫大学 Macleod C. J. 等以阿曼蛇绿岩为例, 研究了快速扩张脊背景的下地壳增生模式。目前流行两类模式来解释快速扩张脊背景的下地壳增生。一是“辉长岩冰川”模式: 所有熔融物质直接从地幔注入熔融状透镜体内, 随后由于其顶部地温梯度较大而发生大规模结晶作用, 下沉的晶体沉淀在熔融状透镜体底部而形成下地壳; 二是席状岩床模式: 下地壳发生大规模结晶作用, 这一过程对晶体的垂向大规模传输作用不明显, 随着结晶作用的充分进行, 下地壳变得更冷, 促使热量散发得比平

常更快。

南斯拉夫 Milovanovic D. 等研究了东阿尔卑斯东南段狄那里克(Dinaridic)蛇绿岩带中镁铁质麻粒岩的岩石学特征。狄那里克蛇绿岩带从西波斯尼亚北部, 穿过西塞尔维亚南部, 延伸到阿尔巴尼亚和希腊南部。镁铁质麻粒岩形成一厚达 100m 的地质体, 与所有围岩呈构造接触关系, 但麻粒岩的叶理与橄榄岩的层理一致。石榴子石-辉石温度计获得的温度范围是 $900 \sim 1000^{\circ}\text{C}$ (压力为 $10 \times 10^8 \text{ Pa}$), 石榴子石-角闪石温度计获得的温度为 $830 \sim 880^{\circ}\text{C}$ 。这种温度差异很可能反应了矿物在冷却期间的形成顺序, 代表了在压力温度降低的情况下形成了角闪石。变质作用很可能与侏罗纪狄那里克蛇绿岩带形成过程中, 基性大洋壳下面超镁铁质岩的消减作用有关, 镁铁质麻粒岩很可能来源于消减带更深的部位。在这一过程中, 超镁铁质岩也经历了类似变化。围岩中出现的含刚玉斜长角闪岩和含石榴斜长角闪岩进一步确认了这种假设。

土耳其 Sarifakioglu E. 研究了土耳其 Eskitehir-Kutahya 地区沿 Izmir-Ankara 分布的蛇绿岩推覆体的岩相学和地球化学特征。沿 Eskitehir-Kutahya 地区出露的晚白垩世蛇绿岩推覆体是 Izmir-Ankara 原洋壳的一部分, 呈分散的倒转序列产出, 它们是在晚白垩世末期(Maastrichtian-Palaeocene)以逆冲席的形式快速侵位到 Anatolid-Torid 地块上的。蛇绿岩带由一个完整的蛇绿岩序列组成。在构造单元内部, 橄榄岩全部或部分发生了蛇纹石化。方辉橄榄岩局部被伟晶辉长岩和辉绿岩切穿, 超基性-基性岩石是同源的。堆晶辉长岩、辉绿岩墙和枕状熔岩经历了洋底变质作用, 形成了低级绿片岩相矿物组合。微量元素分析表明, 相对于 N-MORB, 从辉绿岩墙

到辉长岩, LILE (Sr, K, Rb, Ba, Th) 含量增加, HFSE (Nb, Zr, Ti, Hf, Y) 和 LREE 含量降低, 然而, 洋底变质作用使除 Th 外的 LILE 发生了迁移。根据蛛网图和构造岩浆判别图解, 这些蛇绿岩带形成于上叠型俯冲带环境 (SSZ)。

Pearce J. A. 等研究了板块重组和初始俯冲期间的蛇绿岩成因。越来越多的人认为, 世界上最大的、保存最好的蛇绿岩 (如特提斯和其他地区) 形成于俯冲初期, 其中许多蛇绿岩是在海底扩张向洋壳俯冲的转换过程形成的。对西太平洋蛇绿岩研究提供了初始俯冲之后形成的最早期岩石圈成因的大量信息。他们强调了蛇绿岩多成因特征, 下面几点是其中最重要的: (1) 火山岩在成分上从典型的低 Ca 玻安岩变化到亏损的岛弧拉斑玄武岩, 其成因与消减组分加入到极端亏损地幔有关。实验模拟显示这种亏损地幔的潜温接近于 MORB。有两种方式产生这种高度亏损的热地幔: 如果先存地幔岩石圈是热的 (非常年轻岩石圈下面的俯冲), 浅层次的亏损地幔将由于消减组分的首次加入而发生熔融; 如果地幔软流圈能够流动进入地幔楔拐角处, 在流动期间的熔融萃取可能导致地幔逐渐亏损不相容元素。(2) 残留橄榄岩中铬铁矿系统的氧逸度及铬原子数显示一些岩石圈形成于由真正的海底扩张 (如 100% 的伸展, Parkinson & Pearce, 1998) 引起的初始俯冲之后, 可能是俯冲来源的岩浆 (如玻安岩) 和先期俯冲的 MORB 地幔岩石圈相互作用的产物。(3) 在扩展的球粒陨石标准化 REE 图解上, 俯冲初期形成的多数熔岩具有正 Hf、Zr 异常。地球化学模拟和熔融试验表明这些异常的程度太大, 是不能用熔融过程来解释的, 但可用玄武岩熔融来解释。有两种很有潜力的假设, 第一种是俯冲板片熔体从最初热的地幔楔吸取热量, 第二种是在浅部地幔楔的玄武岩脉因来自新俯冲板片的流体而发生熔融作用。Pearce 等 (1999) 在研究西太平洋蛇绿岩时, 所展示的 Hf 同位素证据支持第二种假设, 但这并不是最终结论。

Flower Martin 等研究了地幔流在蛇绿岩成因中的作用。蛇绿岩中伸展和挤压构造背景的共存 (所谓的“蛇绿岩难题”) 和难熔的玻安岩毗邻 MORB 质基底被广泛地认为与会聚边缘发生的作用有关, 并似乎共享了唯一的洋内弧前位置。地中海、西太平洋和南西太平洋、西大西洋的弧前例子似乎代表了弧-沟反转的增生产物。地震图像显示由于近代碰撞停息了反转作用, 这种碰撞具有由俯冲作用制约的以形成弧后岩石圈、迁移的弧前、盆地

“崩塌”形式出现。相反, 由相关的玻安质、钙碱性岩石、极端难熔的蛇纹岩和大洋基底残余物质组成的有浮力的弧-弧前杂岩, 能经受俯冲作用并通过造山作用增生到大陆岩石圈。对蛇绿岩成因有两种设想: 一是特提斯型蛇绿岩, 这些蛇绿岩是由碰撞激发的地幔物质挤出的响应, 弧后盆地在打开以前和打开过程中, 其开启速率大于与碰撞有关的邻近陆块的逃逸速率; 二是科迪勒拉型蛇绿岩, 其与响应全球尺度的板块运动学重组引起的板块速率增加 (相对于下伏软流圈) 有联系。

Yamasaki T. 等研究了位于 Haylay n 地块上的阿曼蛇绿岩, 提供了这些蛇绿岩从洋中脊背景转换到俯冲带上叠型背景下形成的岩石学和地球化学证据, 识别出了两种独特的岩套: 早期岩套 (GB1) 由层状辉长岩序列中的橄长岩、橄榄石辉长岩组成, 在橄榄石 (Fo)、斜长石 (An) 成分图解中以洋中脊辉长岩型趋势为特征; 晚期岩套 (GB2) 由层状辉长岩序列和上部的薄板状辉长苏长岩序列中的橄榄石辉长岩、橄榄石辉长苏长岩和辉长苏长岩组成, 与早期岩套相比, 以在给定橄榄石 (Fo) 成分情况下具有更高的钙斜长石为特征。这两种地幔来源的岩浆作用暗示阿曼蛇绿岩的产出背景发生了从洋中脊背景向俯冲带上叠型背景的转变。

Dilek Yildirim 研究了特提斯蛇绿岩的类型、成因及演化史。特提斯蛇绿岩代表中生界蛇绿岩形成的主要阶段, 代表冈瓦纳大陆和欧亚大陆之间盆地的洋壳的“化石”。三叠纪的裂谷组合包括板内碱性玄武岩、过渡性玄武岩和洋中脊玄武岩, 它们在空间上与蛇绿岩共生, 代表晚三叠世的早期洋壳。阿尔卑斯-喜马拉雅造山带中的蛇绿岩包括超级裂谷盆地型、初始洋壳 MORB 型、原始岛弧-弧前-弧后型等俯冲带上叠型组合 (地中海型)。爱琴海以西的侏罗纪蛇绿岩含有丰富的二辉橄榄岩、橄榄岩, 部分代表位于洋-陆过渡带的大陆地幔岩石圈。这种蛇绿岩局部呈双带出现, 表现出独特的地幔序列, 包含不同的矿物组合、化学成分和稀土型式。爱琴海以东的蛇绿岩是白垩纪的, 可能包含大洋岩石圈基底, 被俯冲带上部的玻安质钙碱性岩石侵入或覆盖。这种岩浆演化过程形成于板块上部的伸展和亏损软流圈的熔融, 该过程是板块折返阶段、岛弧裂离、盆地打开过程的响应。在岩浆产生与伸展平衡处, 扩展轴部的岩浆增生形成岩墙群, 即典型的彭罗斯型洋壳 (Penrose)。蛇绿混杂岩包括洋壳岩石、台地碳酸盐岩和蛇绿岩以及变质岩, 代表俯冲-增生杂岩, 形成

于被动陆缘的弧-弧前杂岩的碰撞阶段。因此,特提斯蛇绿岩的侵位包括沟-弧-陆碰撞,使得俯冲折返循环停止,造山带中弧前洋壳岩石圈的拼贴作用,弧后盆地的俯冲作用消亡导致洋壳彻底消失。碰撞导致的地幔上涌强烈影响弧-沟折返机制、俯冲环境中的岩浆流和热状态,后者逐渐控制着蛇绿岩的形成过程。因此,区域和全球的地幔动力学在特提斯洋盆和岩石圈演化过程中起到关键作用。

2 特提斯造山带蛇绿混杂岩的时空结构、组成及演化

特提斯造山带是全球构造上地壳岩石圈结构演化最复杂、造山类型最多的纬向构造域,它不但记录了特提斯洋的发生、发展和消亡的全过程,而且也记录了劳亚大陆、冈瓦纳大陆和泛华夏大陆(群)及其陆壳碎块间的相互作用,并最终汇聚碰撞、拼合、隆升的地质构造过程。由于它在全球构造特殊的空间位置、巨大的展布规模、显生宙复杂的洋陆演化史和多样化的造山过程等等,决定了它在全球构造岩石圈演化、特别是在大陆地质研究中占有举足轻重的地位。

Maanijou M. 等研究了伊朗西部 Nahavand 地区色彩丰富的蛇绿混杂岩的地质和地球化学特征。这些高度分散和逆冲的 Nahavand 蛇绿混杂岩位于伊朗西部和扎格罗斯(Zagros)山北西部。这些混杂岩侵位时间发生在晚白垩世和始新世。蛇绿混杂岩由沉积岩、玄武岩、辉绿岩和辉长岩组成。总体上,由于海底蚀变作用和低级热液变质作用, Nahavand 蛇绿混杂岩经历了广泛的次生变化,包括绿泥石化、绿帘石化、沸石化和钠黝帘石化。蚀变导致主量元素获得或丢失,因而一些主量元素判别图解如 TAS、AFM 图解是不能使用的。但是 Ti/V 、 Ti/Cr 、 $TiO_2-MnO-P_2O_5$ 和 $Hf/3-Th-Ta$ 图解显示这些玄武岩位于 OFB 区(洋底玄武岩)和 OIB 区。玄武岩的 REE 模式图解总体右倾,以 LREE 富集为特征, $(La/Sm)_N=2.4$, $(La/Yb)_N=9.7$ 。玄武岩的不相容元素模式不同于典型的 E-MORB,以相对富集大离子不相容元素为特征。另一方面,玄武岩与典型 OIB 也具有相似性。辉长岩和辉绿岩具有相似的 REE 模式,表明具有相似的地壳火成岩成因。

Razavi S. M. H. 和 Gahraipour M. 研究了伊朗中部的 Nain 蛇绿混杂岩,这些混杂岩位于德黑兰南西 400km 左右,蛇绿质混杂岩出露完整,但不同单元因构造活动而分散在不同地方。这些杂岩包括堆晶

超基性岩、构造岩、斜长超镁铁质堆积岩、辉长岩、闪长岩和玄武质枕状熔岩和沉积岩。杂岩年龄介于晚白垩世到古新世早期之间。这些岩石受到了变质作用的影响。一些辉长岩、超基性岩动力变质成糜棱岩。枕状玄武岩经历了沸石相的海底变质作用。

Bortolotti Valerio 和 Principi Gianfranco 研究了中生代特提斯扩张西延及泛大陆解体,提出一个泛大陆解体和特提斯蛇绿岩的形成的模式,范围包括土耳其通过大西洋中部到加勒比地区。注意到沿此带①存在同时代的裂谷、大量的岩浆岩,②从东到西蛇绿岩剖面的时代越来越新。我们认为从土耳其到加勒比地区的蛇绿岩:①在土耳其蛇绿岩构成两条带,被一个陆块分隔(称为 Menderes);在北带(Pontic 山脉、安卡拉地区),它们主要是侏罗纪的,但 Karakaya 蛇绿岩一致认为是晚三叠世的。②在希腊,关于蛇绿岩形成的古地理环境存在两种相差甚远的解释。两者均形成于一个洋盆(Vardar)或两个洋盆(Vardar 和 Pindos);资料显示只存在一个洋盆(Vardar),形成的洋中脊蛇绿岩是中三叠—中侏罗世的;中侏罗世产生洋岛玄武岩及玻安岩(俯冲带之上的)。③在阿尔巴尼亚,中侏罗世洋中脊型蛇绿岩和俯冲带上叠型蛇绿岩分布广泛,并形成两条平行的带;厚层三叠系玄武岩同样存在,但并非裂谷成因的。④在阿尔卑斯和亚平宁,只存在中晚侏罗世的洋中脊型蛇绿岩,未见俯冲带上叠型蛇绿岩报道。⑤在西班牙 Betica 山脉出露侏罗纪变质蛇绿岩。在大西洋中部,作为地中海和加勒比特提斯的连接部位,Blake Bahama 盆地的开启时代显示为中侏罗世。⑥在加勒比特提斯地区,以玄武岩为主的洋中脊型蛇绿岩分布在早、晚白垩世之间。这些时代数据清楚地说明中生代特提斯的开启时代越往西越新,结果导致泛大陆解体。最东部的地中海特提斯为三叠纪的,而加勒比特提斯是白垩纪的。裂解的主要原因是欧亚和冈瓦纳板块之间大致沿赤道的大型右旋运动。在此过程中,大西洋中部可作为大型拉分盆地,由中生代特提斯洋的两个主要分支——地中海和加勒比特提斯组成。

Piccardo Giovanni B. 从阿尔卑斯-亚平宁蛇绿岩岩石地球化学特征研究了侏罗纪利基里安特提斯的开合历史。利基里安特提斯洋(LT)的形成由欧亚和亚的里亚板块的分离形成,并与北大西洋的裂谷、开启有关。古构造重建说明,LT 的宽度不超过 400~500km,向东的俯冲和板块汇聚导致特提斯洋在古近纪彻底闭合。保存在阿尔卑斯-亚平宁(AA)

缝合带中的肢解蛇绿岩由该洋盆的洋壳形成。Voltri 地块、Piedmont 和 Saas Zermatt 榴辉岩相变蛇绿岩位于俯冲带的西侧,而北亚平宁和中阿尔卑斯东部蛇绿岩位于俯冲带的东部,靠近亚的里亚的边界。AA 蛇绿岩在以下方面与现代洋脊有区别:①地幔岩石主要是大量的二辉橄榄岩,②洋脊型辉长岩侵入到橄榄岩中,③地幔超镁铁岩经历了从尖晶石相环境到浅部的剥蚀作用,④蛇纹石化橄榄岩出露于海底,被洋脊玄武岩和侏罗纪放射虫硅质岩覆盖。在中阿尔卑斯的东部,大陆基底的伸展型外来块体局部覆盖在剥露出的地幔岩之上。而在利基里安的外围,陆壳岩石与洋脊型玄武岩和大量地幔橄榄岩共生。边缘海环境蛇绿岩中大陆地幔、大陆基底岩石和洋脊玄武岩的共生组合,强烈说明洋盆从裂谷作用到打开发生在被动边缘岩石圈伸展环境中。地幔岩石记录了熔体、岩石相互作用的重要迹象,与岩石圈伸展、裂谷过程中软流圈流体通过伸展岩石圈地幔的迁移有关,发生在洋脊玄武岩的侵入、喷出之前。盆地的洋底岩石圈主要由侏罗纪以前的大陆地幔组成,并受到软流圈、岩石圈相互作用的流体的渗虑作用,以及侏罗纪洋脊玄武岩喷溢的强烈改造。进变质作用达到高压峰期环境,退变质作用发生在恒温或降温环境,表明出洋壳闭合、俯冲及大陆碰撞剥蚀的过程。

Saccani Emilio 和 Photiades Adonis 研究了阿尔伯-海伦 (Albanide-Hellenide) 蛇绿混杂岩中火山岩的构造-岩浆意义。阿尔伯-海伦 Supelagonian 蛇绿岩带与混杂带密切共生,包括多种构造和沉积过程形成的逆冲岩片,形成于俯冲带环境中蛇绿岩构造变位过程中。Supelagonian 混杂岩包括构造蚀变的、肢解的俯冲洋壳、上部洋壳中弧前物质。混杂带中火山岩的成分和岩石学特征记录了大洋岩石圈形成早期到消亡的过程,和混杂带形成的信息。Rubik 杂岩 (Albanides) 和 Avdella 混杂带是典型的构造-沉积混杂带,包括洋岛玄武岩,说明它们是俯冲洋壳形成的。Koziakas 构造-沉积混杂带 (Hellenide) 由多种火山岩构成:①过渡型—碱性玄武岩、流纹安山岩和流纹岩,②正常和过渡型玄武岩和③玻安岩。虽然有三叠—侏罗纪的放射虫硅质岩岩块,但没有确切的年龄数据。海伦 Agoriani 混杂岩主要为沉积成因,包括 N-MORB、碱性洋岛玄武岩、玻安岩、过渡型玄武岩。海伦 Argolis 半岛混杂岩可分为 4 种填图单元:下部和上部单元为沉积过程形成,包括大量玻安岩,而极少出现正常、过渡型玄武岩,及碱性洋

岛玄武岩;与此大不相同的中部单元和楔状单元则以构造过程为特征;中部单元的火山岩为碱性洋岛型,包括洋岛玄武岩,代表一个海山残片。在 Rubik 和 Koziakas 混杂带中,一些玻安岩脉穿插不同的构造单元,涉及洋脊和洋岛系列。说明洋脊和洋岛物质的构造叠置发生在玻安岩岩浆形成之前。

Malpas John 等研究了塞浦路斯特罗多斯蛇绿岩席状岩墙杂岩对活动边缘扩张中心岩浆增生方式的意义。特罗多斯蛇绿岩席状岩墙杂岩,大致沿东西方向延伸约 110km,是世界上最大、保存最完好的蛇绿岩杂岩之一。洋脊环境的特点是扩张速度低、岩浆供给慢及大规模的构造裂离。通过与洋脊环境对比,特罗多斯席状岩墙杂岩一般被认为形成于快速扩张环境中。然而,俯冲带上叠型蛇绿岩中扩张速度和岩浆供给的关系与洋脊型蛇绿岩是完全不同的。在大多数的扩张中心中,扩张速率和岩浆供给是密切相关的,两者大致保持平衡,所以洋底地壳的厚度一般都是 6km,不管扩张脊是快还是慢。与此不同的是,大部分特提斯蛇绿岩形成于俯冲带上叠环境。俯冲折返的速率可能与地幔上侵、俯冲岩石圈的年龄及俯冲角度有关。俯冲带上叠环境中岩浆供给的速度反映区域地热增温率、软流圈上涌的方式、俯冲下去流体的体积及俯冲板片的性质。但是,在俯冲折返过程中,岩浆产生的地点是逐渐向海洋一侧迁移的,与板片后退保持同步。因此,在俯冲带上叠环境中,快速的板片折返会产生快速的扩张环境,其岩浆供给低,而区域性构造伸展强烈。这将产生与低速扩张的洋脊相似的环境,并形成比现代洋壳薄的洋壳。像特罗多斯、塞美尔那样,发育良好的岩墙杂岩,代表俯冲带上叠环境中偶然的岩浆供给和扩张速度的平衡。但是,对于大多数的蛇绿岩,并不保持这种平衡,导致蛇绿岩侵位之前就已经构造解体。

Ahmed Zulfigar 研究了巴基斯坦-印度板块西缘的特提斯蛇绿岩。晚白垩世蛇绿岩大部分是异剥钙榴岩型的,分布在巴基斯坦的印度地块西界的缝合带中。该带西段,从南到北,主要蛇绿岩包括 Bela、Ras Koh、Muslimbagh、Zhob、Waziristan Sakhakot-Qila 杂岩。在北段,该带沿喜马拉雅向东延伸,典型蛇绿岩沿主地幔断裂分布。例如在 Swat 地区的混杂带有大型块体 Jijal、Chilas,小型阿尔卑斯型橄榄岩分布在 Bardai、Babusar 等地。混杂带与这些蛇绿岩共生。西段含丰富的融离型铬铁矿,每个蛇绿岩均显示 Cr-Al 互为倒数关系,富含 Cr 铬铁矿。Bela

蛇绿混杂带形成最大的蛇绿岩套,从南到北出露 465km 长。北带岩石显示岛弧地球化学特征,含有低 Ti 的镁铁岩石,南带的高 Ti 的镁铁岩石属于弧后盆地成因,两带均含有洋岛玄武岩。Bela 蛇绿岩在很多方面与阿曼的塞美尔相似。再往北,缝合带岩构造线与 Muslimbagh 蛇绿岩相接。Muslimbagh 以南有两个大型块体,但是 Muslimbagh 以北,蛇纹岩和异剥钙榴岩化辉长岩形成细小弧形露头。唯独 Waziristan 蛇绿岩含有 Cu 矿。Sakhakot-Qila 蛇绿岩是肢解的,在席状岩墙之下有完好的地层。辉绿岩以零星的脉状,穿插地幔岩类, LREE 亏损,说明为洋脊型的。它的铂族元素 Ru-Os-Is 相对 Pt-Pd 富集。Ni-Fe 附矿物及合金形成于亏损环境。这一点与硫化物和铂族元素矿物蛇绿岩类型在成分上不同。

Heuberger Stefan 等研究了巴基斯坦西北部喀喇昆仑-科希斯坦缝合带地质演化和时代。科希斯坦岛弧于晚白垩世同喀喇昆仑地块活动陆缘的碰撞,形成了喀喇昆仑-科希斯坦缝合带。沿 Chitral 地区(巴基斯坦西北部)的填图、U-Pb 年龄和锆石 Hf 同位素分析等方面的工作成果为该碰撞带岩浆作用的时限、深部熔融和断裂作用提供了新的约束。Chitral 地区的该缝合带存在时间可能在 110Ma 到 100Ma 之间,寿命较短。这个年轻的花岗质岩墙或许代表着循环的岛弧基底的成分,或者它可能部分来源于元古宙至古生代的地壳。这些花岗岩墙以及 44Ma 的辉长岩体也许代表着始新世北科希斯坦缝合带之下的印度板块地壳的局部熔融。Upadhyay Rajeev 和 Sinha Anshu Kumar 研究了印度拉达克北部的什约克缝合带。在印度北部,拉达克地块位于南部的印度板块与北部的喀喇昆仑地体中部。拉达克地块北部的什约克缝合带被认为是一个具有弧后盆地特征的缝合带,它主要表现为一系列发育在拉达克和喀喇昆仑岩基之间的强烈变形的构造岩片。在什约克缝合带上识别出了一个较厚的石灰岩建造,它含有丰富的阿普第阶—森诺曼期(> 113 ~ 91Ma)珊瑚、小壳瓣、棘皮刺、藻类和丰富的有孔虫,将其认为是什约克古洋盆内最新的海相沉积的证据,什约克缝合带很可能形成于 100 ~ 90Ma。此种始新世海相沉积记录已经广泛地运用于解释印度板块与欧亚板块碰撞作用的年代(60 ~ 50Ma),因而具有十分重要的意义。

3 特提斯重建

20 世纪 70 年代以来,以板块构造观已有 3 种

特提斯演化模式:即“剪切张”、“传送带”和“手风琴运动与开合”模式,所有这些模式都是以一个联合古陆的形成的特提斯是泛大洋(原古太平洋)中的一个海湾的假说为前提,或以冈瓦纳大陆裂离、欧亚大陆增生为基点。对此,我们在《东特提斯地质构造形成演化》一书(1997)中曾有过简要评述。总体看,本次大会在特提斯“重建”问题上没有大的突破,因对大量新的地质记录事件了解不够,所以对东特提斯重建仍是基于 80 年代的认识框架。但是,本次大会上已经有学者注意到了原、古特提斯重建问题,并在东地中海、伊朗等地开展了对古特提斯和原特提斯的研究工作。

Metcalfe Ian 讨论了东特提斯的时空重建问题。东特提斯的演化过程经历了从打开到关闭的 3 个继承性特提斯洋盆阶段——古生代特提斯、中生代特提斯和新生代特提斯。这 3 个洋盆的遗迹被保留在一系列位于东亚和东南亚的狭窄的缝合带之中。主要的东古生代特提斯洋盆是由澜沧江、昌宁-孟连、清迈-Sra Kao 和 Bentong-Raub 缝合带所反映。中生代洋盆则是以班公湖、Shan Boundary 和 Woyla 缝合带为标志。而新生代特提斯洋盆是由印度斯雅鲁藏布江和 Meratus 缝合带所反映。这些特提斯洋盆是在 3 个陆块条或地体拼合体脱离东冈瓦纳大陆向北裂解和分离过程中相继形成的。泥盆纪脱离的地体为华北、华南、塔里木、印度支那、东马来西亚和西苏门答腊;早二叠世脱离的地体为 Sibumasu,羌塘以及基梅里大陆的其他单元;三叠纪—晚侏罗世脱离的地体分别为拉萨、缅西以及一些现在位于苏门答腊、Sulawesi 和 Borneo 的微陆块。因此,东特提斯演化以冈瓦纳的离散和亚洲地体增生为特点。这些地体是现今东亚和东南亚地区的构成部分。石炭纪到新生代持续的俯冲作用导致特提斯洋盆破坏和关闭,并使曾经分散分布的小陆块通过碰撞作用而拼合到一起完成大陆增生。早石炭世时,印支和华南地块在特提斯内沿 Song Ma 缝合带拼合,关闭了古生代特提斯的一支。早二叠世塔里木地块增生到欧亚板块以及三叠纪华北与华南的特提斯洋内碰撞关闭了其他分支。中生代特提斯的关闭发生在晚侏罗—早白垩世,当时拉萨地块拼贴到欧亚板块,而缅西拼贴到了 Sibumasu。新生代特提斯随着古新世—始新世印度板块和欧亚板块的碰撞而关闭。

罗马尼亚 Sandulescu Mircea Ioan 研究了中欧和东南欧特提斯链的构造和板块构造史,指出两次弯曲的额尔巴干-巴尔干链以及对应的狄那里克-希

腊链形成并延长了阿尔卑斯山脉(北部和南部)以及向东与次要的亚洲链的关系。它们的演化遵循从特提斯洋及其大陆边缘的一段(一边是欧洲,另一边是阿普利亚前缘或部分)进行的威尔逊旋回阶段。在研究区中南部打开的特提斯之前的裂谷系是二叠纪或早三叠世。在中三叠世时,额尔巴干-狄那里克和希腊-安娜图段开始打开和扩张,持续到早、中侏罗世;在西 Carpathians-Alpine 地区扩张于侏罗纪,与中大西洋的打开同时。三叠纪发生了重要的裂谷作用(北 Dobrogea-南 Crimea 坳拉槽,晚期受 Cimmerian 构造成因变形)或侏罗纪(Ceahlau-Severin 裂谷,与 Valais 裂谷相似的位置)欧洲大陆边缘内。沿特提斯洋的 Transylvanian-Vardar 段开始俯冲,存在俯冲洋壳制约的钙碱性岩浆记录。出现在中白垩纪重要的会聚活动很好地表现为欧洲大陆边缘和特提斯洋内(伴随着大陆边缘之上的仰冲作用)的压缩构造。对应的大陆边缘(Apulian 前缘或部分)也发生变形,但主要的压缩事件是在中晚白垩世土仑期(Turonian)。陆-陆碰撞出现在侏罗纪末期,由 Transylvanian-Vardar 缝合带和部分 Helleno-Anatolian 缝合带限定。沿 Pienidian-Liguro-Piemontais 和 Valais 缝合带,碰撞在渐新世和早中新世结束,碰撞后的压缩作用出现在欧洲大陆边缘内。

Hsu Kenneth 和 Dilek Yildirim 研究了阿尔卑斯造山作用的多岛海模式。有关阿尔卑斯造山带的地槽和板块构造理论认为,特提斯洋将欧洲从非洲分离出去,阿尔卑斯是始新世时期该洋盆闭合、非洲和欧洲碰撞的产物。意大利被认为是北非和地中海的一个海角,并被解释为是大陆碰撞后的伸展作用形成的。现在的阿尔卑斯的这种模式无法解释:意大利来自何处?奥地利阿尔卑斯安底斯型花岗岩的成因,地中海洋脊(MR)的成因,MR 之下磁性正异常的来源,Levantine 海反向磁异常的形成,特提斯蛇绿岩的不同时代和成因类型,向南倾斜的阿尔卑斯中存在向北倾斜的地震反射面,晚白垩世阿尔卑斯高压、超高压变质作用,阿尔卑斯复理石盆地的演化,以及阿尔卑斯古近系火山岩的形成。采用造山作用的多岛海模式,我们得出以下结论:意大利是欧洲的一部分,尚未与非洲碰撞;奥地利阿尔卑斯安底斯型花岗岩形成于欧洲板块(EP)二叠纪活动边缘;MR 是 EP 的活动边缘,直到中新世;MR 下面的火山岩是磁异常的来源;东地海洋壳的磁性反向异常代表古特提斯二叠纪残留洋壳;阿尔卑斯系统中大多数蛇绿岩是弧后盆地洋壳残余;向北倾的地震

反射面代表弧后盆地古俯冲带;晚白垩世高压变质作用代表俯冲的时代;阿尔卑斯复理石盆地是这些消亡的弧后盆地演化来的。因此,我们认为,阿尔卑斯特提斯是一个复合洋盆,由两个弧后盆地组成,被 Branconnais 残余弧分隔。晚白垩世的俯冲作用使北 Valais 盆地消亡。而南 Piedmont 盆地在白垩纪—古新世消亡。地中海是古特提斯的一部分。Levantine 海标志古特提斯洋壳的最后残余。

Zakariadze Guram S. 等研究了东地中海海西构造带前特提斯大洋组合的地球化学和地质年代学及其泛非事件成因。东地中海海西构造带原特提斯大洋组合分布在海西基底单元中,从巴尔干半岛、安那托里亚,到高加索地区,整体构成东地中海海西构造带(EMH)。分布在高加索、土耳其、罗马尼亚、和巴尔干地块中的 EMH,包括 MORB 型变质蛇绿岩,经历了绿帘石-角闪石相中—低压变质作用[(3~7)×10⁸Pa]。分布在色雷斯地块中的罗多彼和马其顿的 EMH 经历了绿帘石-角闪石相—榴辉岩相中—高压变质作用[(6~16)×10⁸Pa],这些古洋壳岩石为 N-MORB 到 T-MORB 型地球化学特征,高场强元素和稀土元素分布型式为平坦型,轻稀土变化大,在 Tu/Yb-Ta/Yb 等图中成分跨越洋脊—板内环境。在希腊的罗多彼和马其顿地块,Sm-Nd 单矿物等时线年龄显示,在阿尔卑斯构造热时间之前曾达到中—高压峰期变质作用。MORB 岩石的 Sm-Nd 全岩年龄和模式年龄为新元古代(990~670Ma)。EMH 中的正变质基底侵入到 MORB 岩石中,岩性为拉斑质-钙碱性辉长岩,时代为 690~540Ma。这些单元代表新元古代岛弧杂岩,发育在洋壳基底之上。但年代学显示有陆壳卷入。上述地球化学和年代学数据说明地中海地区 EMH 高压变质基底形成于阿尔卑斯构造期之前。认为这些新元古代基底是岛弧残块,曾经作为南部阿拉伯-努比亚地盾的边缘。因此,EMH 地壳成分是泛非成因的。它被拼贴到劳亚大陆是一个复杂的地球动力学过程,包括原特提斯消亡、西冈瓦纳北缘的裂解和冈瓦纳超大陆裂解后古特提斯的打开。

Bagheri Sasan 和 Stampfli Gerard M. 研究了伊朗中部与古特提斯演化有关的构造-岩浆事件。伊朗中部的 Anarak-Jandaqk 地区古特提斯伴随数次重要的构造-岩浆事件。早泥盆世的基性岩墙和熔岩属于被动边缘阶段。这些岩石显示强不相容元素高度富集,稀土和微量元素模式类似于大陆拉斑玄武岩。因为这些岩石下部为台地型沉积,我们认为

是古特提斯裂谷阶段的产物。在缝合带的北段,活动边缘增生体由解体的变蛇绿岩组成。在 Anarak、Nakhlak、Turkemanly 等地,它们由蛇纹石化超镁铁岩组成,构成玻安岩质的辉长岩。显著特征为高场强元素强烈亏损,稀土模式为 U 形,选择性富集大离子亲石元素。这些蛇绿岩可能代表古特提斯的晚古生代弧前基底。中二叠世,蛇绿岩基底和变沉积岩盖层受到钙碱性双峰式火山岩活动的影响,这些岩浆活动是弧前伸展和边缘海盆形成的标志。其后发生了弧后盆地型的拉斑玄武质岩浆活动。在该区北部发现了早石炭世钙碱性岛弧火山岩和更早的侵入岩,在三叠系 Nakhlak 群中这种类型的岩浆活动得到了继续发展。三叠纪晚期—侏罗纪发育了同碰撞或后碰撞期侵入岩,标志了古特提斯的最后关闭。

4 喜马拉雅-青藏高原地质

本次大会在喜马拉雅期造山专题,31 份参加会议的口头报告和展讲中,中国地质学家占到 12 篇,其中成都地质矿产研究所提交的青藏高原地质 6 篇。研究的深度和广度均有较大进展,但国外地质学家对青藏高原研究热潮似乎有所降低。

Decelles Peter G. 等研究了尼泊尔喜马拉雅褶皱带(Fold-Thrust Belt)的动力学历史,指出尼泊尔具有 4 条向北倾斜的逆冲带和一个区域性的背斜复合体(antiformal duplex),其余的南倾的逆冲带位于褶皱带的西藏部分,介于藏南拆离系和印度斯缝合带之间。尼泊尔主要的逆冲带包括(从北到南)主中央逆冲带、Ramgarh 逆冲带、主边界逆冲带和主前锋逆冲带系统。Ramgarh 是小喜马拉雅复合体(Lesser Himalayan duplex)的逆冲带。所有这些构造单元均可在尼泊尔境内东西向追索。来自前陆盆地沉积的热年代学、穿切关系和区域性数据厘定了断裂活动的时间。主中央逆冲带上盘的高级变质岩是在始新世最晚期和渐新世期间随着西藏喜马拉雅逆冲作用而被构造埋藏并变质的。大喜马拉雅岩石云母的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 冷却年龄表明主中央逆冲带的活动时间为早中新世($> 22 \sim 21\text{Ma}$)。Dumri 组中的砂岩,Nd 同位素区域数据和 U-Pb 碎屑锆石年龄($> 20 \sim 15\text{Ma}$,以磁性地层学为基础)表明它们源于大喜马拉雅岩石或者是主中央逆冲席的特提斯地层。Ramgarh 逆冲带切割了 Dumri 组,因而表明新于 15Ma。小喜马拉雅复合体使 Ramgarh 主中央逆冲带褶皱的时间应该是滞后的。中中新统一上新统西瓦里克群成分学和磁性地层学数据标定该复合体的

初始剥蚀解体时间大于 11Ma。主边界逆冲带可能在中新世最晚期活动而主前锋逆冲带可能是现代活动的。逆冲带在尼泊尔部分的总缩短量大于 500km。加上西藏喜马拉雅缩短估计量,喜马拉雅扇形体(Himalayan salient)中部的最小总缩短量大于 700km。由于该缩短量是发生在上地壳的岩石中,因此大印度基底和岩石肯定向欧亚板块南缘之下俯冲了相应的长度。这个结论也许能够解释西藏高原在新生代时期地壳增厚的历史。

印度学者 Chatterjee Himadri 研究了印度喜马偕尔邦(Himachal Pradesh)小喜马拉雅索里(Shali)山西姆拉(Simla)群的塔塔帕尼(Tattapani)杂岩,指出虽然许多地质工作者对喜马拉雅造山带形成前的挤压构造进行过推断,但典型的前造山阶段或挤压构造格架迄今没有确立。认为塔塔帕尼杂岩是西姆拉群最老的地层单位,在印度板块喜马偕尔邦(Himachal Pradesh)的低喜马拉雅坳槽之边缘逆冲带上,表现为一系列相互分割的含有玄武岩的逆冲岩片,且夹于浅变质或正常沉积岩系中。在此次交流过程中,讨论了一些新获得的塔塔帕尼杂岩的地球化学特征,认为其构造环境(依据岛弧观点)是新元古代的弧后盆地,对印度板块喜马拉雅造山带西北部前寒武纪造山带研究具有一定的意义。通过对巴基斯坦和印度西北部相似古构造环境遗迹的报道,印度板块西北缘构造演化应从汇聚或离散边界循环两方面得到解释。

5 特提斯构造与沉积关系研究进展

构造与沉积的关系是第 32 届国际地质大会研讨的重要内容之一,愈来愈引起地学界的重视。本次大会 96 篇摘要参加该主题的讨论,其中大会讨论的有 29 篇,涉及的研究方向有前陆盆地沉积与逆冲作用的过程、伸展作用与盆地的沉积关系、走滑(包括斜向挤压走滑、斜向拉伸走滑)与沉积作用等方面。研讨内容广泛、全面,重点讨论的主题有构造控盆、盆控相、盆地演化与盆地充填作用等,也即“盆山耦合”、“盆山转换”等。研究的重点领域在洋陆构造体制转换域,也即特提斯大洋俯冲消亡过程中形成的一系列盆地:弧前、前渊、弧后盆地和前陆盆地,以及叠在其上的山间盆地,侧重点为前陆盆地。采用的方法与手段为多学科相结合的盆地分析,如物源分析、相分析、堆积体的序列和叠置,露头与地震、钻井数据相结合,利用平衡剖面分析及盆地模拟的引入等。强调盆地中堆积体或沉积物的沉积作用方

式、类型和几何型态,受构造活动及构造幕、海平面变化、古气候和物源供给等因素的制约,同时盆地充填物又能反映构造演化。应用领域主要为油气盆地分析。

逆冲作用与前陆盆地沉积是大会研讨的热门话题,因为前陆盆地从某种角度是联系造山带与克拉通盆地的关键部位,对该类型盆地的研究有利于了解两者之间的物质交换。一方面认为逆冲作用控制了前陆盆地的形成,另一方面前陆盆地充填层序反映了盆缘的逆冲事件。如刘和甫认为前陆盆地与造山带耦合可以分为3类:大洋俯冲造山,并在岩浆弧后发育弧后前陆盆地;陆-陆碰撞造山带或弧-陆碰撞造山,相应地发育周缘前陆盆地;陆内俯冲造山带,在造山带前缘发育陆内前陆盆地。

Palladino G 等人提出的背驮式沉积对逆冲断层的演化有响应。认为意大利亚平宁上新世背驮式的沉积生长断层控制了沉积。并从中新世到上新世,在推覆体席向毗邻南亚平宁迁移过程中形成前渊。Sabato L 等认为意大利南部拉达尼克斯槽隆升构造控制前陆盆地的最后阶段充填作用。早期为滨岸砂岩、砾砂沉积,向盆地方向为远滨的砂泥沉积序列。在狭窄盆地中为砂质三角洲,老的沉积系统伴随NW-SE走滑向盆地方向迁移。盆地西部狭窄带快速充填,年轻的系统走滑进一步产生SW向作旋转。同时表明这种迁移和沉积物地层构造样式指示了沉积作用是由在长周期海平面下降过程中高频的海平面变化引起。

Gabaldol V 等研究认为,西南伊比利亚华力西构造带是斜压造山带的一个很好例子,也是冈瓦纳古陆北部与劳亚古陆再碰撞期间的一个长期斜向(左旋)汇聚的过程。汇聚发生在残余洋底的再俯冲和斜向增生达到最大的陆壳边缘与超大陆最终碰撞的地块边缘。汇聚的斜向性质体现了一些关于几何特征和许多继承盆地演化的特性。按时间先后形成的盆地有以下几种类型:(1)冈瓦纳大陆北缘(奥萨山莫雷纳地区)残余洋壳在中至晚泥盆纪左旋俯冲时形成的海沟弧前盆地;(2)早泥盆世至早韦宪世奥萨山莫雷纳地区地壳上 Terena 及其相关的弧后盆地;(3)周边的前陆盆地,包括奥萨山莫雷纳地区地区的边缘、冈瓦纳陆壳北部的一个盆地(Perdroches盆地),最初为与横向逃逸相关的拉分盆地(晚泥盆世至中韦宪世),以及随后的典型周缘前陆盆地(晚韦宪世至谢尔普霍夫世),劳亚古陆南部的Baixo Alentejo复理石盆地(晚韦宪世至威斯特伐利亚期);

(4)当地基底隆起剥蚀后的继承山间盆地(晚杜内世至早二叠世)。所有类型盆地的沉积物特征表现为:上叠充填物呈走向穿时非常特征,短暂的持续的沉积中心,同时代地层倒置与沉积中心形成,内源沉积物和再生沉积物充填,混杂沉积建造包括了盆地和盆外的物体。

前陆盆地充填层序的变化反映了盆缘逆冲事件。据 Scisciani V 等人研究认为,亚平宁山链中段佩里-亚得里亚海前陆盆地是一个反映挤压构造与同沉积作用相关的很好例证,它提供了一个能详细研究褶皱加逆冲推覆构造与同沉积盆地关系的演化实例。通过地震和测井资料的分析,结合野外调查,可以识别出外亚平宁逆冲推覆前缘沿线的不同构造类型,表明新近纪形成的构造在同构造沉积中的控制作用。在亚平宁山链外部的地区,亚平宁东缘薄皮构造的前沿逆冲断层与相关褶皱共存(影响着新近纪的硅质碎屑沉积),一直延伸到内部的厚皮构造逆冲断层。利用平衡剖面可以再现研究区的逆冲前缘、前渊沉积中心分布和前陆断坡几何形态的二维和三维模式。在逆冲相关的褶皱类型上(即间距、产状、对冲断层的倾向和褶皱幅度等)与前陆断坡的继承体系是相关联的。沉积和侵蚀的过程伴随着佩里-亚得里亚海盆地的演化,就像堆放模式的差别一样,亚平宁褶皱-逆冲构造系统构造形式上走向的变化反映了同构造沉积的沉积相和沉积体系结构。

在与挤压相关的研究进展,如 Sabato L 等人还提出断展褶皱对湖相沉积体系的控制。Sozbilr H 在研究凯末尔帕复-托尔巴勒盆地研究中,发现组内角度不整合,同沉积褶皱和断层与沉积和构造有关联,中新世单元被左旋滑移的走滑断层切割,这些走滑断层也是盆地北部东部边界。这个盆地和控盆的东边界断层形成一个受控于南北拉张的扭张滑脱背景,为一典型的扭张滑脱型盆地。Kawamura K 在研究南海海沟东部刮削增生作用及机制过程中认为,在增生体前缘利用结构、构造和沉积指明真正的增生柱形成过程。通过有代表性变形过程和覆盖其上的不是强烈变形的浊积岩序列,也即来判别变形期次及增生过程。

Maisaze F 通过对同时代地层的岩相分析、造山作用、沉积过程研究,结合构造与古地理分析,发现沉积作用与造山幕的关系非常密切。在拉张阶段为大陆边缘分离,形成大陆斜坡沉积,在关闭阶段形成复理石盆地,在造山停止阶段形成磨拉石盆地。

走滑转换造山带是大陆山链主要类型之一,它

的形成与沿走滑断层的局部拉伸有关。压缩弯曲和伸展弯曲可以形成走滑挤压带和走滑伸展带等。走滑挤压作用常形成走滑造山带及正花状构造,并在造山带两侧形成走滑挤压盆地;走滑伸展作用可以形成走滑盐岭构造及负花状构造,并在走滑带形成拉分盆地或楔形裂隙。走滑断层的主体在平面上呈线形弧形,在剖面上呈陡倾斜并具花状构造。由于走滑断层的水平移动,造成局部的挤压和拉张,并与断层面的形态相配合形成拉分盆地和挤压隆起。这些走滑断层大多与板块构造有关,形成于多种地球动力学环境。如大洋和大陆的转换部位、岛弧、缝合碰撞边界,以内陆和大陆边缘环境最为常见。盆地内的沉积物是拉分盆地演化过程的物质记录,尤其是能反映走向滑移的物质记录尤为重要。正如 Miall(1984) 曾对走滑盆地的沉积物作了总结一样:世界上纯粹的走滑变形少见,而多为走滑-拉张或走滑挤压,亦即斜滑变形。走滑拉张形成的盆地较深且规模较大盆地具明显不对称性。盆地深而窄,同沉积构造活动强烈、横向相变剧烈,由于走滑变形的特殊性,这些盆地在主断层两侧都有分布,但沉降中心都在靠近主断层一侧沉积物偏离物源区及现代走滑所造成的地貌不协调等。

在伸展构造与沉积作用方面,本届大会展现了一些代表性的研究成果,如 Di L E 等学者提出的中央亚平宁山中新世晚期至上新世早期与逆冲相关的构造受到上新世晚期至第四纪伸展构造的影响,挤压与伸展的波状起伏向东部迁移。由于东部伸展作用的进一步发展,开阔盆地伸展打开。中生代之前的老断层被活化的同时又(或)被晚期构造作用所影响,加强了岩体破碎和风化,从而引起沉积碎屑岩源区范围的扩大。在以伸展作用为主的地段和正遭受挤压作用地段的交汇地区,狭谷开裂并形成粗碎屑沉积。利用地震数据和测井资料建立的三维模型再造了沉积盆地的几何形态、构造样式、沉积类型。比如,在冲断带轴向地区伸展的 Fucino 盆地,三维模型可以估计出更新世同裂谷沉积的厚度与空间分布。在伸展与沉积关系的数值模拟方面的研究进展有 Tavani S 等学者利用 HCA (Hybrid Cellular Automata) 数值动态模拟算法模拟沉积演化对伸展和盐丘构造的响应。Dietrich B 通过三维地震分析,认为东 Shetland 盆地以及北海裂谷系,伸展断层的生长和控制着构造和沉积发展,包括盆地构造形态、地层序列的时空演化。

Leroy M 研究认为大陆边缘解体之后和伴随的

周期热沉降,被动大陆边缘会进一步变形。这些变形中,许多被动陆缘的上隆是隆起因往往与水平变形有关。大西洋被动边缘认为后解体的水平位移有关,这之后才是挤压变形。并可从大陆边缘的网状排水系统和沉积盆地展布得以证实。

此外,过去重视构造演化影响和沉积层序,集中在盆地级沉降和层序和体系域可容空间,缺乏海平面与区域气候变化。Barbeau D 通过对地表及露头调查研究,发现在一些活动构造占主导地位的许多盆地中,同沉积变形也能形成系统的区域不整合面、地层间断。这些“动力层序”可以用地层尖灭来界定与识别。从生长地层中,与系统相展布有关联的尖灭样式的研究能提高碳水化合物复原和动力构造复原。近源动力层序和适应倾斜地层特征区域的耦合也能在以构造控制盆地中散发出缺乏定义的层序,这种构造也能影响沉积供给和可容空间。

6 结 语

自 100 多年前奥地利著名地质学家徐士(E. Suess)推测在古欧亚与非洲、印度之间,地质历史上存在过横贯赤道附近的大洋,并以希腊神话中一位女神(海神 Tethys)名字命名的特提斯以来,它成为地质科学上经久不衰、百年热门的研究领域。特提斯地质研究涉及到全球构造、地壳和岩石圈演化、洋陆变迁等重大地球科学理论问题。对比国内外有关特提斯地质研究,我国在东特提斯地质(青藏高原及邻区)研究中,特提斯时空结构的分析、三大古陆群的提出、显生宙 20 余条蛇绿岩(混杂岩)带的厘定、3 个不同时代的多岛弧盆系构造区的划分、东特提斯前陆盆地群的确认、特提斯演化过程的古生物、古气候、古地理的再造、全球洋-陆构造体制转换中特提斯演化模式的建立以及特提斯演化的地球动力学等方面的研究,曾经被美国地质学会主席伯奇费尔院士(2002 年)评述为“提出了许多挑战性的概念和新的解释,是大而新的并自成一个独立的理论体系;更重要的是该模式完全可以为精细的实际地质工作所检验,并将在未来激励着地质工作者”。尽管如此,我国在总体上与国际一流水平的特提斯地质研究相比,还存在不少差距。我们对众多的蛇绿混杂带时空结构、组成、组合关系及动态变化过程还不够深入,在蛇绿岩的岩浆成因、蛇绿岩侵位构造过程的研究还比较薄弱,对特提斯带不同时期的蛇绿岩和

(下转第 94 页)

参考文献:

[1] 徐长贵,姜培海,武法东,等. 渤中坳陷上第三系三角洲的发现、沉积特征及其油气勘探意义[J]. 沉积学报, 2002, 20(4): 1—7.

[2] 姚光庆,马正,赵彦超,等. 浅水三角洲分流河道储层砂体特征[J]. 石油学报, 1995, 16(1): 1—8.

[3] 孙永传,李惠生. 碎屑岩沉积相和沉积环境[M]. 北京: 地质出版社, 1986.

[4] 成都地质学院陕北队. 沉积岩(物) 粒度分析及其应用[M]. 北京: 地质出版社, 1976.

[5] 马立祥. 油田内 5 级界面层序沉积微相制图的意义及其实现途径[J]. 石油实验地质, 1997, 19(3): 1—7.

The grain size analysis for the shallow-water delta microfacies: An example from one well in the Bozhong 25-1 Southern Oil Field

JIA Dong-hui^{1,2}, WU Xiao-hong¹, ZHAO Li-chang², ZHO U Shi-ke²
(1. China University of Geosciences, Wuhan 430074, Hubei, China; 2. Tianjin Branch, China Oceanic Petroleum Company, Tanggu 300452, Tianjin, China)

Abstract: The shallow-water delta is a special type of deltas. Exemplified by one well (Well A) in the Bozhong 25-1 Southern Oil Field, the present paper deals with the grain size analysis and correlation for individual shallow-water delta microfacies. These grain size analyses show that the grain size probability cumulative curves and C-M patterns for the shallow-water deltas quite differ from those for the meandering streams and river-dominated deltas, suggesting the unique hydrodynamics of the shallow-water deltas.

Key words: Bozhong depression; shallow-water delta; sedimentary microfacies; grain size analysis

(上接第 107 页)

火山岩浆弧的基本特征及地球化学共性、差异性缺乏系统对比研究,青藏高原南部前寒武纪变质岩、基底尚未引起足够重视; 尽管对青藏高原内不同时期、不同构造环境的沉积盆地已有了框架性的了解,但是对盆地的成因类型、盆地充填过程、层序发育过程、盆地演化以及热力学行为所知甚少,青藏高原特提斯的古地理古构造重建,应是必须加强的领域。我们还需要加强青藏高原金属矿产资源的聚集和分布规律研究,加强青藏高原的含油气盆地的资源评价与预测研究等等。

青藏高原在全球是独特的,但不是孤立存在的,特提斯海洋的形成演化起源于罗迪尼亚超大陆的解

体,青藏高原的形成演化起源于特提斯洋的形成和消亡。随着研究领域的不断拓宽,研究目标更加集中,强调地质、地球物理和地球化学及相关多学科的集成,既研究高原内部、也研究其周边,实现空间尺度的多层次拓展,既探索高原的过去,也要预测未来,实现时间尺度的双向延伸,从更大的时空尺度、更精细的定量数据来认识理解青藏高原在全球构造中作为一个异常活跃单元的奥秘,为地球科学的理论发展,为国民经济全面协调可持续发展做出中国地质学家应有贡献。

(参考文献均引自 Abstracts of the 32nd international Geological Congress, Italy . 2004)