

文章编号: 1000-0550(1999)04-0596-05

北秦岭小寨变质沉积岩系的地质特征及其构造意义

李亚林¹ 张国伟¹ 王根宝² 高凤泉²

1(西北大学地质系 西安 710069) 2(陕西省地矿局地质研究所 西安 710204)

摘要 原岩恢复、沉积建造及变形变质综合研究表明,北秦岭小寨变质沉积岩系属活动陆缘性质沉积建造,形成于二郎坪弧后盆地消减俯冲带的海沟盆地—海沟斜坡环境,是古俯冲带的重要证据之一,其变形序列反映了弧后盆地构造演化过程,并与构造混杂岩、俯冲型花岗岩及高压变质带一起构成相对完整的古俯冲带标志,为探讨秦岭古生代板块构造演化提供了重要信息。

关键词 北秦岭 沉积环境 弧后盆地 构造演化

第一作者简介 李亚林 男 1968年出生 博士 构造地质学

中图分类号 P512.2 P542 **文献标识码** A

1 区域地质背景

最新研究表明,秦岭造山带在晚古生代—中生代初(T_{1-2})呈现为三板块沿两缝合带依次向北俯冲碰撞造山的构造演化格局^[1],自南而北依次为扬子板块—勉略缝合消减带—秦岭微板块—商丹缝合消减带—华北板块,同时沿两个活动大陆边缘形成沟—弧—盆系,北部沿商丹一线发育了古秦岭岛弧和二郎坪弧后盆地,现今残存的丹凤岛弧型和二郎坪弧后小洋盆型蛇绿岩是该构造体系存在的最直接

证据。

夹于商县—瓦穴子断裂和子母沟—大河断裂间的二郎坪群主体为二郎坪蛇绿岩,同时还包括了北部柿树园变质沉积岩系和南部小寨变质沉积岩系(图1)。小寨变质沉积岩系呈带状沿二郎坪群和秦岭群边界近东西向展布,主要由变质碎屑岩组成,同时还存在少量火山岩夹层,过去曾将其和北部柿树园变质沉积岩系一起统称为小寨组,但新的研究表明二者在组成上显著差异,非同一沉积体系^[2],这一点已得到广泛认可,但仍在小寨沉积岩系的形成环境及所反映的大地构造意义等方面认识不一致,本文将通过对沉积岩系岩石特征、沉积建造和变形变质分析,对其形成构造环境作一探讨。

2 原岩恢复及岩石化学特征

小寨沉积岩系普遍发生变质作用,岩石类型主要为:云母片岩、云母石英片岩、变质砂岩、斜长角闪岩、变质砾岩等。从岩石组合上又可分为两个岩段,A段:以云母片岩—云母石英片岩组合为特征,岩石含石榴石、红柱石、十字石等矿物变斑晶,分布于变质沉积岩系北部;B段:为云母片岩—斜长角闪岩组合,斜长角闪岩在沉积岩系内有两种产出状态,一种呈薄层状、条带状、厚度小,可见变余砂状结构,为砂岩变质而成;另一种呈深绿色、厚层—块状,镜下具

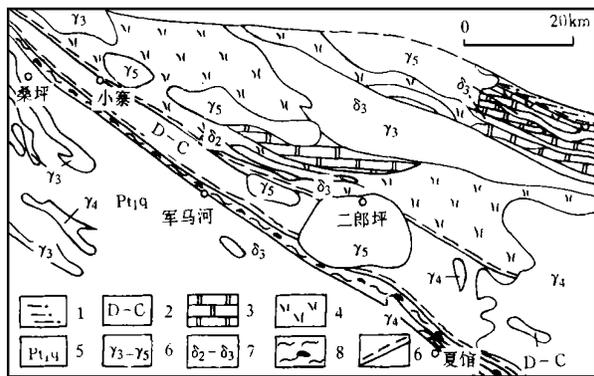


图1 北秦岭小寨地区地质简图

- 1. 柿树园变质沉积岩系; 2. 小寨变质沉积岩系;
- 3. 碳酸盐岩; 4. 二郎坪蛇绿岩; 5. 秦岭群;
- 6. 花岗岩; 7. 闪长岩; 8. 构造混杂岩; 9. 韧性剪切带

Fig. 1 Geological map of Xiaozhai area Qinlin Mountain

低的低成熟度砂岩, 其化学成分除 MgO 偏高, CaO 偏低外, 其它成分与南侧秦岭群片麻岩很相近, 表明其物源区为南侧的秦岭古岛弧。

3 沉积建造和构造环境分析

小寨变质沉积岩系内发育多种沉积构造, 包括交错层理、递变层理、平行层理、波纹层理等, 同时粗砂岩、砂岩、粉砂岩、泥质粉砂岩、粉砂质泥岩表现出明显的韵律性(图 3), 各种沉积构造也以一定的序列出现, 并呈现出 Bouma 序列的沉积特点。序列最底部由粗砂岩、中粒砂岩组成, 颗粒分选差, 不同粒级混杂一起, 块状构造, 厚度 < 1.2 m, 相当于 A 段; 向上过渡为中粒砂岩, 纹层发育且平行, 厚度很小, B 段; 再向上为细砂岩和粉砂岩层, 交错层理发育, 也可见波纹层理, 厚度 < 0.2 m, 为 C 段; 向上由于变质作用影响, 已变为绢云片岩, 原始沉积构造无法辨认, 推测原岩应为泥质类岩石, 相当于 D + E 段, 由于后期改造作用, 完整的 Bouma 序列在沉积岩系内少见, 大部分发育不完整, 但仍反映出浊流沉积特点。

为进一步研究小寨变质沉积岩系形成构造环境, 将本区变质碎屑岩与 Bhatia (1985) 不同构造环境变质碎屑岩的有关参数对比发现(表 1), 本区岩石介于大陆岛弧与活动陆缘环境之间。根据 M R Bhatia^[3] 和 Korsch^[4] 砂岩环境判别图解, 对本区变质砂岩形成环境分析发现, 投点分别投入大陆岛弧区附近或活动陆缘区(图 2-c, d), 属不稳定的活动大陆边缘环境。结合沉积岩系的组成、物源、沉积建造分析, 以及空间上狭长带状的产出状态, 且基底为二郎坪火山岩, 表明其形成于一种活动陆缘带状海槽环境, 而这种环境显然与弧后盆地的俯冲消减作用相关。由于强烈的构造改造, 使得对沉积相和古水流方向分析变得很困难。目前的研究结果表明沉积体系中存在两个古水流方向。刘文荣以水平线为轴恢复正常层为水平, 得出 NE63° 的古水流方向^[5]。我们从沉积岩系空间分布及沉积物组成分析, 得出沉积物搬运方向自南而北, 物源来自南侧秦岭古岛弧区, 同时对沉积体系中沉积砾岩分析, 又得出 NW290°—315° 的古水流方向。对于这种现象 Underwood(1982)解释为沉积物沿海沟斜坡进入海沟盆地都会沿盆地长轴方向流动并快速沉积, 因此综合分析可以认为本区沉积体系应属海沟斜坡—海沟盆地相沉积, 其沉积模式见图 4。

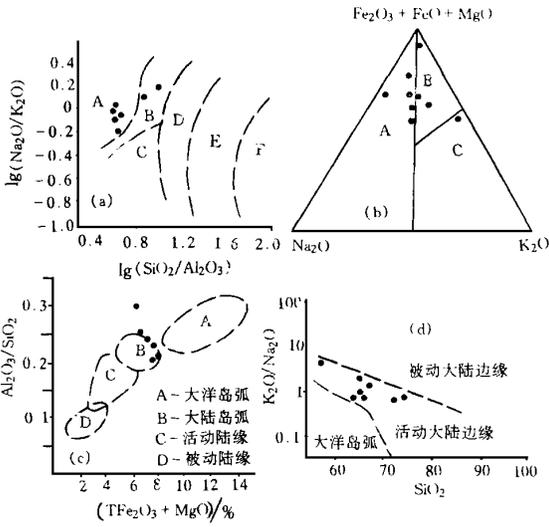


图 2 岩石类型及构造环境判别图解

- a. $\text{Log}(\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}) - \text{Log}(\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3)$ 图解
- b. $(\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO} + \text{MgO}) - \text{Na}_2\text{O} - \text{K}_2\text{O}$ 图解
- A—杂砂岩 B—岩屑砂岩 C—次长石砂岩
- D—次岩屑砂岩 E—石英砂岩
- c. $(\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2) - (\text{TFe}_2\text{O}_3 + \text{MgO})\%$ 图解
- d. $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O} - \text{SiO}_2$ 图解

Fig. 2 Petrographic classification and tectonic setting discrimination diagram

变余嵌晶结构, 原岩应为基性火山岩。对变质沉积岩系已有的岩石化学资料系统分析, 进行原岩恢复发现, 在西蒙南(al+fm) - (c-alk) - si 原岩判别图解上, 除部分斜长角闪岩投入火山岩区外, 其它变质岩均投入砂岩或泥质岩区。对泥质岩和砂岩(12 个样品)化学成分统计, 其 SiO_2 : 66.17%, Al_2O_3 : 15.37%, Fe_2O_3 : 1.10%, FeO : 4.28%, $\text{FeO} > \text{Fe}_2\text{O}_3$, TiO_2 : 0.71%, $\text{K}_2\text{O} > \text{Na}_2\text{O}$, $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$: 1.79, 与 Pettijohn(1972)划分的杂砂岩平均化学成分相近。

结构组分研究发现, 变质砂岩杂基含量较高, 多由绢云母、细粒长石和少量石英碎屑组成, 碎屑颗粒主要为岩屑和长石, 石英较少, 且不同粒径颗粒混杂, 磨圆较差, 表明其成分和结构成熟度都很低。根据 Pettijohn 砂岩主元素成分与岩石类型判别图解, 本区变质砂岩除一个点投入石英砂岩区外, 其余均投入杂砂岩和岩屑砂岩区(图 2-a); 在 Blatt 三角图解上, 也表现出相同的特点(图 2-b)。说明变质沉积岩系是一套相对富 Mg、Fe、 $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ 比值较

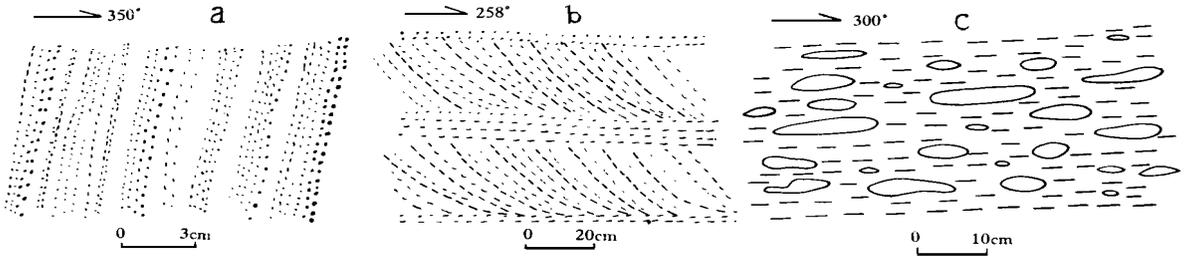


图3 小寨沉积岩系中的沉积构造

a. 韵律层和粒序层理(西峡军马河) b. 沉积斜层理(西峡小寨) c. 沉积砾岩(西峡后河)

Fig. 3 The sedimentary structures of Xiaozhai rock series

表1 不同构造环境变质碎屑岩地球化学参数表

Table 1 Geochemical parameter of clastic rock in different tectonic setting

构造环境	Fe ₂ O ₃ + MgO	TiO ₂	(Al ₂ O ₃ / SiO ₂)	K ₂ O/ Na ₂ O	Al ₂ O ₃ / (CaO+ Na ₂ O)
大洋岛弧型	8~14	0.8~1.4	0.24~0.33	0.2~0.4	1~2
大陆岛弧型	5~8	0.5~0.7	0.15~0.22	0.4~0.8	0.5~2.8
活动陆缘型	2~5	0.25~0.45	0.10~0.20	0.7~1.4	1.7~3.6
被动陆缘型	1~4	0.2~0.5	0.07~0.12	> 1.2	> 3.0
本区变质碎屑岩	7.83	0.71	0.23	1.79	6.74

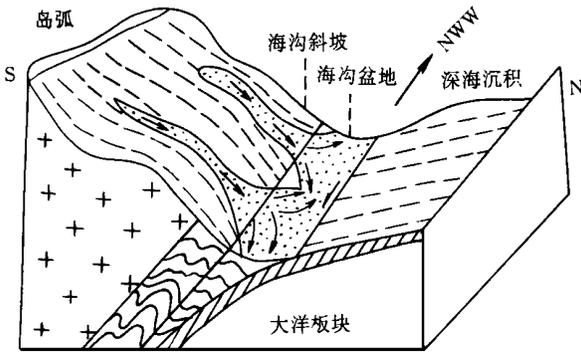


图4 小寨沉积岩系沉积模式图(→古水流方向)

Fig. 4 The depositional model of Xiaozhai rock series

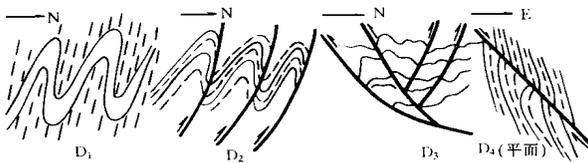


图5 小寨沉积岩系变形构造样式

Fig. 5 The deformation forms of Xiaozhai sedimentary rock series

4 构造变形及变形时代

小寨变质沉积岩系经历了不同层次多期构造变

形,详细的构造解析可分解出以下四期变形(D₁、D₂、D₃、D₄),各期变形构造样式见图5。(1)早期中—深构造层次的紧闭同斜褶皱变形(D₁);以S₀为变形面,形成不同规模的同斜倒转褶皱(F₁)及轴面劈理(S₁),F₁两翼平行并变薄,转折端增厚,属 Ramsay 所划分的Ⅲ型褶皱;S₁产状:185°~210°<55°~78°,并对S₀强烈置换,具透入性特点。D₁变形与早期俯冲作用相关,并伴有绿片岩相变质作用。(2)中—深层次韧性逆冲剪切变形(D₂),也可以认为是D₁的递进变形,但变形机制已由挤压收缩转变为作用剪切。在沉积岩系内部及两侧边界形成了不同规模的韧性逆冲剪切带,以沉积岩系南侧的母子沟—大河韧性带和北侧的小寨—回龙湾—二郎坪韧性带为特征,剪切面理(S₂)对早期S₁迭加置换,并对F₁强烈改造,呈无根状。剪切带内运动学标志均指示由S→N的逆冲剪切运动方向。韧性剪切带整体表现出由N→S应变强度增高的趋势,沿变形最强的南部母子沟—大河韧性带还发育构造混杂岩,伴随D₂变形,沉积岩系发生高绿片岩—低角闪岩相变质作用,为主变形变质期。按 Coward 韧性剪切带与板块缝合带的关系,本期变形反映了板块俯冲作用强盛期变形特征。(3)中—浅层次脆韧性逆冲推覆变

形(D₃), 表现为沿沉积岩系南部发育一系列由 S→N 的低角度冲断层, 并使 T₃、Pt₁ 地层推覆于沉积岩系之上。根据区域构造特征, 北秦岭在燕山期陆内造山阶段以商丹断裂为主滑脱面形成向南大规模厚皮状逆冲推覆构造, 而本区 D₃ 变形则反映了该推覆构造前锋带的反向逆冲构造。(4) 浅层次脆—韧性右行走滑剪切变形(D₄), 主要沿沉积岩系南部边界发生, 呈 NW310°~320° 向延伸, 并在西部斜切沉积岩系, 走滑带内发育构造角砾岩和碎裂岩, 并使 K₂ 地层发生错动, 为最晚期变形。

小寨变质沉积岩系中尚未发现生物化石, 但沉积岩系在北部超覆不整合于二郎坪火山岩(405~970Ma) 不同层位之上(但被后期构造改造呈构造接触), 并有 344±32Ma(Rb—Sr) 同位素年龄, 因此可以确定其沉积时代为 D—C。变质沉积岩系主变形期(D₂) 时代可间接得出, 在东部夏馆以北, 早海西期三岔—头道河岩体被韧性带强烈改造, 线状展布, 并发生糜棱岩化, 而牧虎顶岩体(247~268Ma, K—Ar), 则不受韧性剪切作用影响并截切韧性带, 因而可以认为主变形作用发生在中晚海西期(C—P)。

5 变沉积岩系与区域构造演化关系

综合研究表明, 沿桑坪—军马河—夏馆一线晚古生代未曾存在与二郎坪弧后盆地闭合相关的板块俯冲消减带, 其地质特征主要表现为沿此带发育俯冲带特有的活动陆缘沉积建造、俯冲型花岗岩、高压变质带及构造混杂岩。二郎坪群南侧秦岭群中发育大量加里东期—海西期花岗岩, 这些侵入体空间展布明显分为南北两带, 北带包括漂池岩体(411Ma)、蔡川岩体、虎狼沟岩体群等; 南带包括灰池子岩体(382Ma, 399Ma)、许庄岩体(502Ma)、商南岩体; 地球化学研究表明这些岩体大多具 I、S 型花岗岩双重特点, 岩浆熔体来源于幔源火山弧岩浆作用与下地壳物质的混合, 属 H 型花岗岩, 在 Maniar(1989) 主元素及 Pearce(1984) 微量元素花岗岩环境划分、判别图解中, 具有碰撞前俯冲型花岗岩—同碰撞花岗岩特点, 分别代表了古秦岭洋和二郎坪弧后盆地向秦岭古岛弧之下的俯冲—碰撞造山作用。对应于两带花岗岩, 在秦岭群中发育两带高压变质岩带^[6,7], 其中北带沿二郎坪群南界 NWW—SEE 向分布, 岩石类型有榴辉岩、柯石英榴辉岩和角闪榴辉岩, 并且在构造位置和时代上(410±16Ma, Sm—Nd) 与二郎坪弧后盆地俯冲作用具有高度一致性。沿小寨沉积

岩系南侧发育的混杂堆积(图 1), 其成因曾存在多种认识^[8,9], 经我们详细研究认为该混杂堆积由基质和岩块两部分组成, 岩块变形复杂多呈透镜状、纺锤状, 既有原地岩块也有外来岩块, 其基质表现为自 S→N 韧性剪切带, 其变形特征和形成时代(C—P) 都具有典型俯冲带混杂岩的特点。另外前面环境分析亦表明小寨沉积岩系形成于晚古生代活动陆缘海沟盆地—海沟斜坡相, 是弧后盆地俯冲带的沉积标志(图 6)。

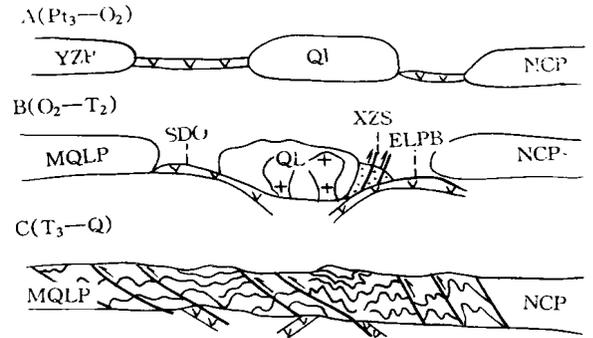


图 6 二郎坪弧后盆地构造演化图

NCP—秦岭微板块; YZP—扬子板块; MQLP—秦岭微板块; SDO—商丹洋; ELPB—二郎坪弧后盆地; QL—秦岭岛弧; XZS—小寨沉积岩系

Fig. 6 The tectonic evolution stages of Erlangping back-arc basin

综合上述分析将本区构造演化可概括为三个阶段: (1) 晚元古代—早古生代初(Pt₃—O₂): 随扬子与华北板块分离, 商丹洋形成, 同时板块间的相互作用导致二郎坪弧后盆地不断扩大, 并发育弧后火山岩(1005Ma、708Ma、405Ma, Sm—Nd; 970Ma, Rb—Sr; 452Ma、412Ma、K—Ar); (2) 早古生代末—中生代初(O₂~T₂): 自 O₂ 起随商丹洋向秦岭古岛弧之下不断俯冲消减成为残余洋盆, 弧后盆地扩张动力消失, 在南北巨大挤压应力场作用下, 南部开始向秦岭岛弧之下消减俯冲, 在岛弧中形成俯冲型花岗岩的同时, 沿海沟发育了小寨沉积岩系, 并使其在俯冲过程中强烈变形(D₁、D₂), 最终于 T₂ 发生全面碰撞造山; (3) 自 T₃ 起进入陆内造山阶段, 继承性收缩作用形成向南大规模逆冲推覆构造, 晚期则表现为走滑剪切变形, 对变质沉积岩系进一步叠加改造, 形成现今构造面貌。

参 考 文 献

1 张国伟. 秦岭造山带的结构构造[J]. 中国科学, B 辑, 1995, 25

- (9): 994~1003
- 2 裴放, 张元国, 刘长乐. 河南北秦岭晚古生代孢子化石的发现及地质意义[J]. 中国区域地质, 1995, 53(2): 110~117
 - 3 Bhatia M R. Plate tectonics and geochemical composition of sandstone[J]. *J. Jour. Geol.*, 1983, 91: 611~672
 - 4 Korsch R J, Roser B P. Determination of tectonic setting of sandstone—mudstone suits SiO₂ content and K₂O/Na₂O ratio[J]. *Jour. Geol.*, 1986, 94: 635~650
 - 5 刘文荣, 王润三, 车自成, 东秦岭二郎坪群[J]. 西北大学学报, 1989, (增刊): 5~35
 - 6 胡能高, 王涛. 秦岭造山带内高压榴辉岩就质带与元古宙碰撞作用[J]. 中国区域地质, 1995, 53(2): 142~148
 - 7 胡能高, 杨家喜, 赵东林. 北秦岭榴辉岩 Sm—Nd 同位素年龄[J]. 矿物学报, 1996, 16(4): 349~352
 - 8 石铨曾. 豫西子母沟组成因及形成环境探讨[J]. 河南地质, 1982(1): 1~13
 - 9 索书田, 钟增球, 胡鱼华. 河南省西峡—内乡北部元古界与古生界间的构造边界[J]. 地质科学, 1990, (1): 12~21

Geological Characteristics and Tectonic Implication of the Xiaozhai Sedimentary Assemblages in the North Qinling

LI Ya-lin¹ ZHANG Guo-wei¹ WANG Gen-bao² GAO Feng-quan²

¹(Department of Geology, Northwest University, Xi'an 710069)

²(Institute of Geology and Mineral Resources Bureau in Shaanxi, Xi'an 710204)

Abstract

Based on the studies of geology and geochemistry, the Qinling orogenic belt is characterized by three plates subduction and collision along the Shangdan suture zone and MianLue suture zone during major orogenic period. The Danfeng arc volcanic rocks and the Erlangping ophiolite indicate the existence of trench—arc—basin system along the North China plate. The Erlangping Group is composed of the northern Sishuyuan clastic sedimentary assemblages, intermediate ophiolite and the southern Xiaozhai clastic sedimentary assemblages, and represents the relicts of the Erlangping back—arc basin which was an important part of the active continental margin of the North China Plate in the Palaeozoic.

The Xiaozhai metamorphic sedimentary assemblages consist of two different rock associations, including mica—schist, mica—quartz—schist and mica—schist, issite rocks. Based on the analysis of protolithes and geochemistry of the Xiaozhai metamorphic assemblages, the most of the two rock associations are sandstones and mudstones except part of the issite rocks. Research on the texture of sandstones show that the clast is mainly made up of feldspar, lithic fragment and little quartz, and the matrix content in sandstones is high. Both the compositional maturity and the textural maturity in the sandstones are low, so the rock types belong to detritic sandstone and feldspathic graywacke. The Xiaozhai sedimentary assemblages exist a series of sedimentary structures such as cross—beddings, horizontal beddings, evenly beddings and graded beddings, these different structures and rock types consist of Bouma sequence and can be clearly observed in weak deformation regimes. The study of sedimentary setting indicates that the Xiaozhai sedimentary assemblages set their position in sea—trench or trench—slope, which is related to the subduction of the Erlangping back—arc basin. The paleowater direction and sediment analysis verified that the Xiaozhai sedimentary assemblages clastics derived from the southern Qinling island arc.

The structural deformation analysis have revealed that the Xiaozhai sedimentary assemblages had undergone four different deformation stages. These stages represented the tectonic evolution of the Erlangping back—arc basin. Firstly, fold deformation at deep—middle tectonic level, resulted in isoclinal foldings, taking the primary bedding as deformation stratification and axial—plane cleavages is regional penetrative schistosity.

(Continued on page 614)

(PDS), the second one at the same time and that in the late mineralization stage are rather large (-8.12% ~ 3.0% , average -3.71%), suggesting that the main origin of CO_2 in inclusion is related to the thermal degradation of organic matter.

Above-mentioned characters of inclusion gas composition suggest that the organic matter really occurred in the gas composition of inclusion, the gaseous hydrocarbon and CO_2 is organic origin in fluid inclusion; the hydrocarbon possibly has some source bed, and the depositional mechanism is possibly related to mixture of aqueous solutions with a pre-existing old oil-gas accumulation at the sites of deposition.

Key words fluid inclusion gas compositions gaseous hydrocarbon old oil-gas accumulation

(Continued from page 600)

Secondly, thrust ductile deformation formed in the deep-middle tectonic level, and show the deformation characteristic of major subduction stage. Finally, brittle shearing and strike-slip shearing dominated the sedimentary assemblages in the intracontinental stage. The subductional granites, tectonic melange and high pressure metamorphic zone in the south of the Xiaozai sedimentary assemblages which were formed in Hercynian-Indosinian epoch indicate that the Erlangping back-arc basin subducted beneath the Qinling island arc during the major orogenic period.

In the light of the comprehensive study of the Xiaozai sedimentary setting, metamorphism, deformation and magmatism, the evolution processes of Erlangping back-arc basin can be recognized as three stages, i. e., spreading stage ($\text{P}_2\text{-O}_2$), subduction-collision stage ($\text{O}_2\text{-T}_2$) and intracontinental stage ($\text{T}_3\text{-Q}$).

Key words the North Qinling sedimentary setting back-arc basin tectonic evolution