



## 西秦岭临潭地区泥盆纪—三叠纪沉积环境恢复与盆地构造演化

冯 欣, 邵兴坤, 侯红星, 秦丹鹤

中国地质调查局 廊坊自然资源综合调查中心, 河北 廊坊 065000

**摘 要:** 根据西秦岭临潭地区泥盆纪—三叠纪沉积盆内细碎屑岩的主量、微量、稀土元素特征追溯源区背景, 反演母岩性质, 建立了该区沉积盆地与构造演化模式。认为沉积盆地的物源总体来自盆地的北部, 北部经历了晚泥盆世的陆相—湖相沉积, 石炭纪的滨岸海滩相—温暖潮湿的近岸海湾(潟湖或潮坪)相—浅海陆棚相沉积, 到二叠纪的浅海陆棚—浅海陆棚内的堡礁或堤礁建造; 沉积盆地南部为稳定的碳酸盐台地相。三叠纪, 盆地经历了大陆斜坡浊流沉积—大陆斜坡(半深海)浊流沉积—滨浅海沉积环境复杂的环境变化。沉积盆地形成演化整体划分为 3 个阶段: 被动大陆边缘台盆台地稳定发育阶段; 弧后盆地形成演化阶段; 弧后前陆盆地叠合阶段。

**关键词:** 构造演化; 沉积环境; 岩相古地理; 晚古生代; 中生代; 西秦岭

## RESTORATION OF DEVONIAN-TRIASSIC SEDIMENTARY ENVIRONMENT AND BASIN TECTONIC EVOLUTION IN LINTAN AREA, WEST QINLING

FENG Xin, SHAO Xing-kun, HOU Hong-xing, QIN Dan-he

Langfang Natural Resources Comprehensive Survey Center, CGS, Langfang 065000, Hebei Province, China

**Abstract:** Based on the characteristics of major, trace and rare earth elements of the fine clastic rocks in the Devonian-Triassic sedimentary basin in Lintan area, West Qinling Mountains, the sedimentary environment and tectonic evolution model are established through tracing the background of source region and inversion of the parent rock properties. It is believed that the provenance of the sedimentary basin generally comes from the northern part which underwent continental-lacustrine deposition in the Late Devonian, the shore beach facies-warm and humid coastal bay (lagoon or tidal flat) facies-shallow marine shelf facies deposition in the Carboniferous, and the shallow marine shelf-barrier reef formation within shallow marine shelf in the Permian; while the southern sedimentary basin is a stable carbonate platform facies. In the Triassic, the basin experienced complex sedimentary environmental changes, that is, turbidity deposition on continental slope-turbidity deposition on continental slope (semi-deep sea)-littoral neritic sea. The formation and evolution of sedimentary basin can be divided into three stages, including the stable development of passive continental margin intraplatformal basin and platform, formation and evolution of back-arc basin, and superposition of back-arc foreland basin.

**Key words:** tectonic evolution; sedimentary environment; lithofacies paleogeography; Late Paleozoic; Mesozoic; West Qinling

收稿日期: 2022-04-12; 修回日期: 2022-07-29. 编辑: 张哲.

基金项目: 中国地质调查局项目“西北沿边及特殊地区地质矿产调查”(编号 DD20160079).

作者简介: 冯欣(1985—), 男, 硕士, 工程师, 从事区域地质调查工作, 通信地址 河北省廊坊市广阳区广阳道 93 号, E-mail//fengxin01305105@163.com

通信作者: 邵兴坤(1985—), 男, 硕士, 工程师, 从事区域地质调查工作, 通信地址 河北省廊坊市广阳区广阳道 93 号, E-mail//740703590@qq.com

0 引言

西秦岭造山带连接华北板块与扬子板块,是中国最重要的构造带并受到广泛的关注<sup>[1]</sup>.西秦岭的东北、西南分别由祁连山、昆仑山围绕,六盘山位于其北部,松潘-甘孜地块位于其南部(图1).秦岭构造带(单元)多年来一直是众多研究的焦点区域,前人研究已经取

得了大量的成果.可以概括地说,秦岭造山带是主造山期新元古代晚期至中生代初的非单一开阔大洋型的多块体中小洋陆板块构造体制为基本特征的以多板块多类型碰撞造山为主体和基础,又遭受中生代强烈陆内造山作用叠加改造的一个复合型造山带<sup>[2-6]</sup>.但目前仍然存在许多有争议的问题,如:扬子板块与华北

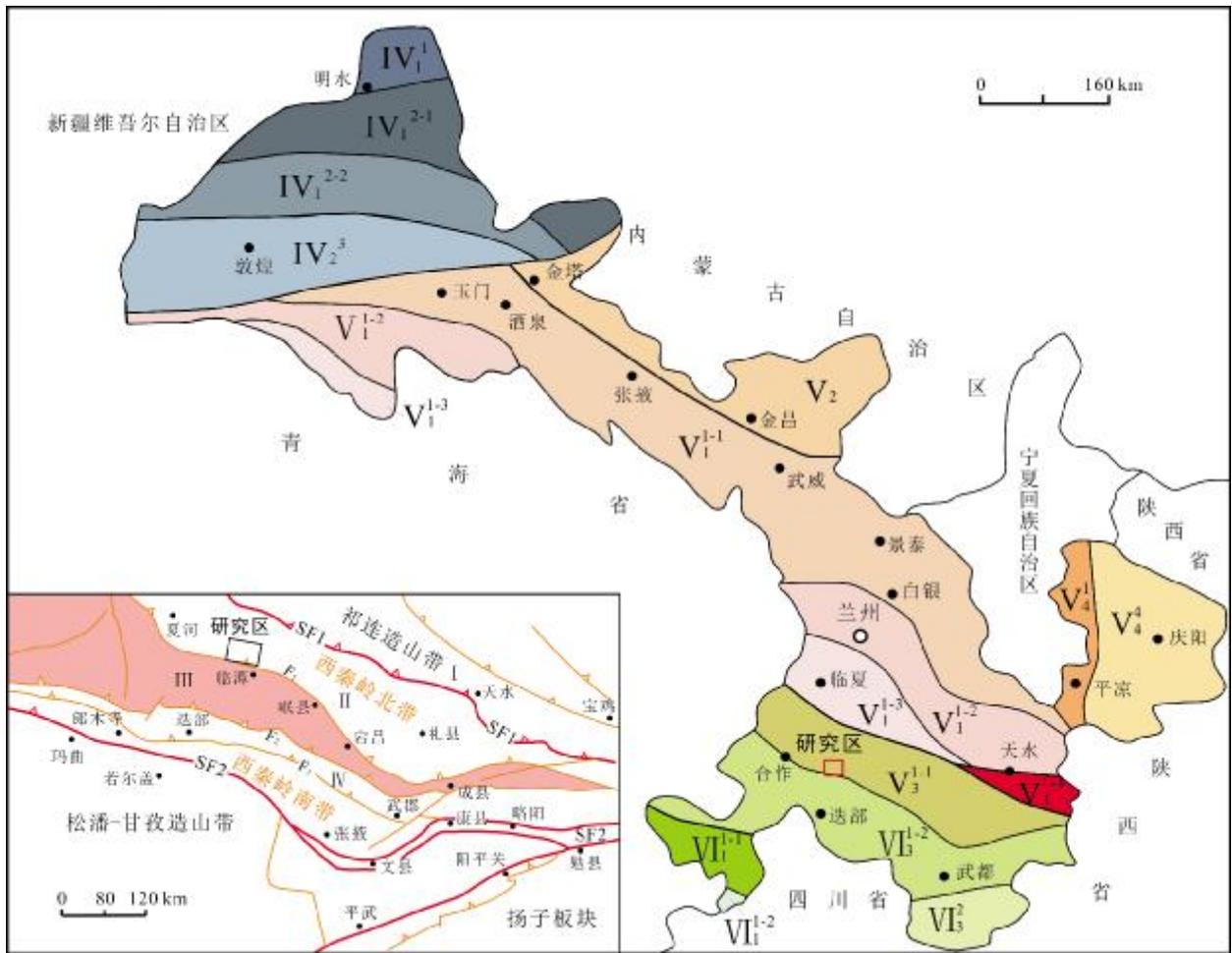


图1 研究区构造位置及地层分区图

(据文献[7]修改)

Fig. 1 Tectonic location and stratigraphic zoning map of the study area

(Modified from Reference [7])

V—华北地层大区(North China stratigraphic region); V<sub>1</sub>—秦祁昆地层区(Qinling-Qilian-Kunlun stratigraphic zone); V<sub>1</sub><sup>1</sup>—祁连-北秦岭地层分区(Qilian-North Qinling stratigraphic area); V<sub>1</sub><sup>1-1</sup>—北祁连地层小区 (North Qilian stratigraphic subarea); V<sub>1</sub><sup>1-2</sup>—中祁连地层小区 (Middle Qilian stratigraphic subarea); V<sub>1</sub><sup>1-3</sup>—南祁连地层小区(South Qilian stratigraphic subarea); V<sub>1</sub><sup>1-4</sup>—北秦岭地层小区(North Qinling stratigraphic subarea); V<sub>2</sub>—阿拉善地层区 (Alxa stratigraphic zone); V<sub>4</sub>—晋冀鲁豫地层区 (Shanxi-Hebei-Shandong-Henan stratigraphic zone); V<sub>4</sub><sup>1</sup>—华北西缘地层分区 (western margin of North China stratigraphic area); V<sub>4</sub><sup>4</sup>—鄂尔多斯地层分区(Ordos stratigraphic area); VI—华南地层大区(South China stratigraphic region); VI<sub>1</sub>—巴颜喀拉地层区 (Bayankala stratigraphic zone); VI<sub>1</sub><sup>1</sup>—玛多-马尔康地层分区 (Madoi-Barkam stratigraphic area); VI<sub>1</sub><sup>1-1</sup>—积石山地层小区 (Jishishan stratigraphic subarea); VI<sub>1</sub><sup>1-2</sup>—马尔康地层小区(Barkam stratigraphic subarea); VI<sub>3</sub>—南秦岭-大别山地层区(South Qinling-Dabie Mountain stratigraphic zone); VI<sub>3</sub><sup>1</sup>—中、南秦岭地层分区(Middle-South Qinling stratigraphic area); VI<sub>3</sub><sup>1-1</sup>—中秦岭地层小区(Middle Qinling stratigraphic subarea); VI<sub>3</sub><sup>1-2</sup>—南秦岭地层小区 (South Qinling stratigraphic subarea); VI<sub>3</sub><sup>1-3</sup>—摩天岭地层分区(Motianling stratigraphic area)

板块究竟何时拼合?西秦岭造山带临潭地区沉积盆地物源来自何处?

本研究主要围绕西秦岭临潭地区泥盆纪—三叠纪沉积盆地形成及构造演化问题,通过地质调查和综合研究,探讨沉积盆地的形成与构造演化,建立该区沉积盆地与构造演化模式;进一步研究物质来源,重塑西秦岭临潭地区晚古生代—中生代古地理构造格局;根据细碎屑岩的主量、微量、稀土元素特征来追溯源区背景,反演母岩性质;探讨西秦岭晚古生代—三叠纪沉积盆地性质及其构造演化过程等基础地质问题。

## 1 区域地质背景

西秦岭造山带西缘与东昆仑和柴达木地块毗邻,北侧与祁连造山带相邻,南缘以阿尼玛卿—勉略缝合带为界与松潘—甘孜造山带相接(图1)。

研究区沉积盆地出露的地层主要有上泥盆统大草滩组、下石炭统巴都组、二叠系十里墩组、下三叠统隆务河组、中三叠统光盖山组和上三叠统大河坝组。泥盆纪—三叠纪是西秦岭造山带演化的重要阶段。

西秦岭地区经历过多次构造运动,褶皱和断裂构造发育。构造线总体为东西走向,北西向和东西向褶皱和断裂构造组成本区基本构造格架<sup>[8]</sup>。现存的基本构造格局形成于中、新生代。

西秦岭广泛发育中生代侵入体。侵入体岩性多样,主要侵位于显生宙地层中,与围岩呈明显的侵入接触关系<sup>[9]</sup>。

研究区变质岩主要为区域变质岩。接触变质岩不太发育,主要出露于印支晚期侵入岩体与围岩的外接触带及其附近,在侵入岩体边缘多形成规模不等的接触变质带<sup>[10]</sup>。

## 2 地层划分对比

本研究经过野外调查、区域对比研究,结合新修编的1:50万秦岭及邻区地质图,将地层分区进行了重新梳理(图1)。首先以测区北侧商丹缝合带为地层大区界线,将区域地层分为华北地层大区和华南地层大区,再将研究区所处的华南地层大区内的南秦岭—大别山地区以合作—岷县—宕昌断裂为界分为中秦岭地层小区和南秦岭地层小区<sup>①</sup>。

在前人资料的基础上,对研究区泥盆纪—三叠纪沉积地层进行了划分对比,开展了重点研究工作并建立了研究区岩石地层格架(表1)。

表1 西秦岭临潭地区古生代—中生代岩石地层单位划分表  
Table 1 Paleozoic-Mesozoic lithostratigraphy in Lintan area, West Qinling

地质年代			岩石地层单位		
代	纪	世	代号	中秦岭地层小区	南秦岭地层小区
中生代	三叠纪	晚三叠世	T <sub>3</sub>		大河坝组(T <sub>3d</sub> )
		中三叠世	T <sub>2</sub>		光盖山组(T <sub>2gg</sub> )
		早三叠世	T <sub>1</sub>		隆务河组(T <sub>1l</sub> )
古生代	二叠纪	早中二叠世	P <sub>1-2</sub>	十里墩组(P <sub>1-2sl</sub> )	
		晚石炭世	C <sub>2</sub>	下加岭组(C <sub>2x</sub> )	
		早石炭世	C <sub>1</sub>	巴都组(C <sub>1b</sub> )	
泥盆纪	晚泥盆世	D <sub>3</sub>	大草滩组(D <sub>3dc</sub> )		

## 3 地层岩性特征与沉积环境分析

### 1) 上泥盆统大草滩组(D<sub>3dc</sub>)

大草滩组底部岩性以浅灰绿色中厚层长石石英砂岩、灰黑色中厚层中细粒长石石英砂岩为主,发育平行层理;中部为一套灰绿色中厚层岩屑砂岩与浅紫灰色—紫灰色中厚层岩屑砂岩互层;上部为一套浅灰色中厚层长石岩屑砂岩、长石砂岩与灰紫色钙质胶结岩屑长石砂岩、粉砂质泥岩、泥岩的韵律沉积(图2)。

中细粒长石石英砂岩呈颗粒支撑,接触式胶结,线接触。岩石由碎屑(99%)及填隙物(1%)组成。碎屑由石英(80%)、长石(15%)、黑云母(4%)及微量重矿物(1%)组成(图3)。

大草滩组岩石下部为正粒序,发育水平层理,反映沉积环境水动力较弱,水体相对较深。岩石以浅灰绿色、灰绿色、灰黑色为特征,反映缺氧的还原环境,认为大草滩组下段为深湖—半深湖亚相。中部由灰绿色砂岩与浅紫灰色—深紫灰色砂岩组成韵律沉积,该段与下部最大的区别是沉积构造多为平行层理、斜层理,水平层理较少见,水动力条件较下段强,新鲜岩层呈暗红—紫红色,暗示沉积环境为氧化环境,推测为浅湖相沉积。上部由灰绿色砂岩、灰紫色砂岩与灰紫色粉砂岩、

①中国地质调查局廊坊自然资源综合调查中心.西北沿边及特殊地区地质矿产调查成果报告.2020.

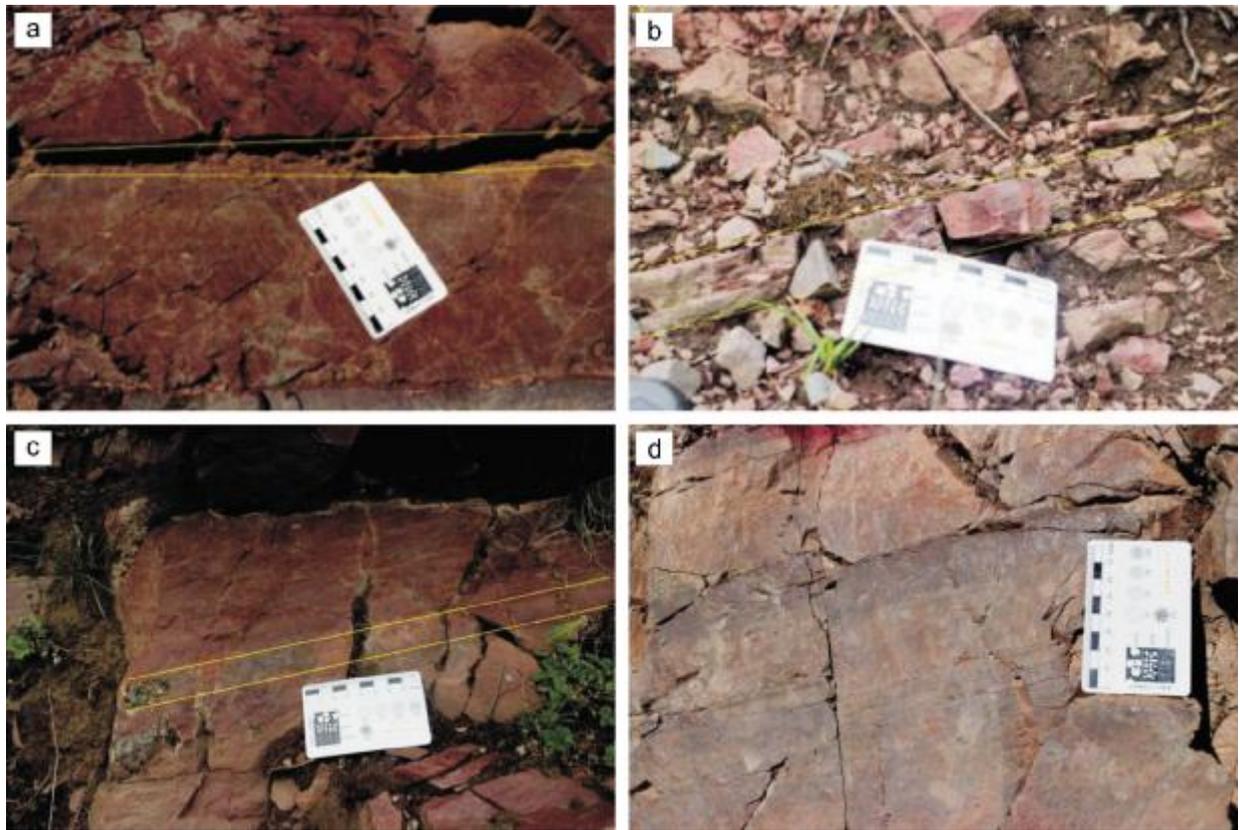


图 2 大草滩组岩石组合及沉积构造特征

Fig. 2 Rock assemblage and sedimentary structural characteristics of Dacatou Formation

a—砂岩夹板岩(sandstone with slate); b—砂岩夹层(sandstone interlayer); c—平行层理(parallel bedding); d—斜层理(oblique bedding)

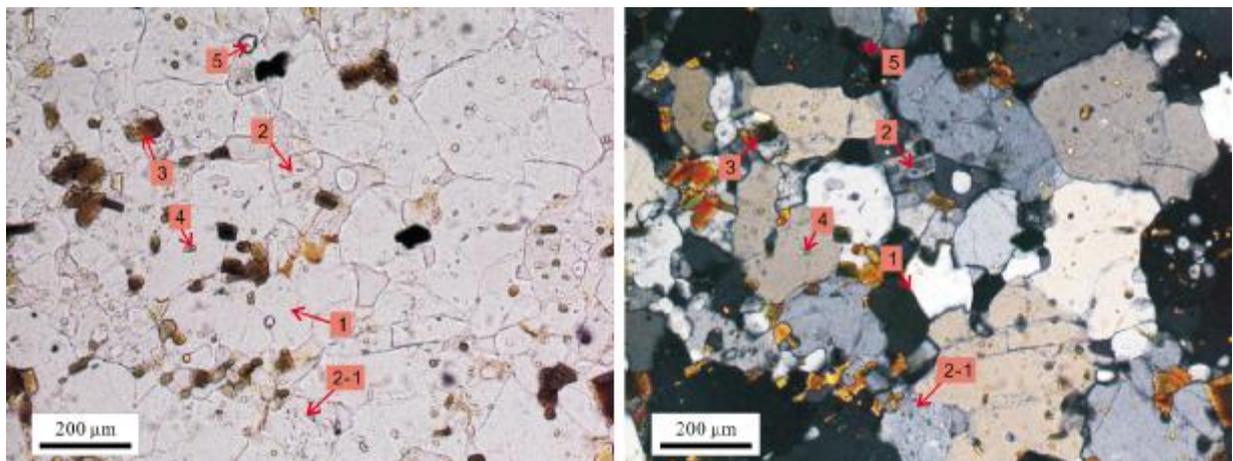


图 3 中细粒长石石英砂岩镜下特征

Fig. 3 Microscopic characteristics of fine-medium-grained feldspathic quartz sandstone

1—石英(quartz); 2—斜长石(plagioclase); 2-1—正长石(orthoclase); 3—黑云母(biotite); 4—锆石(zircon); 5—黝帘石(zoisite)

泥岩组成基本层序. 物质组成以长石砂岩为主, 发育粉砂岩、泥岩, 局部发育含砾粗砂岩, 指示可能存在滨湖或水道环境. 大草滩组沉积环境总体显示了由深湖—半深湖还原环境向浅湖氧化环境的演化.

## 2) 下石炭统巴都组(C<sub>1</sub>b)

巴都组下部岩性以灰色—浅灰绿色中厚层岩屑砂岩为主, 夹少量岩屑长石砂岩、岩屑石英砂岩. 砂岩以中厚层为宏观特征, 岩屑成分含量较高, 颗粒多呈次棱

角状、次圆状,分选和磨圆均中等.上部岩性以灰绿色中厚层岩屑长石砂岩、厚层—巨厚层生物碎屑灰岩为主.该段碎屑灰岩中见大量珊瑚、腕足、苔藓虫及海百合化石,在少量薄层砂岩中见虫迹化石(图4).

巴都组为浅海环境下的沉积,基本层序总体表现为下粗上细的结构特点.区域资料显示,该组沉积时的气候环境从早期的干燥炎热滨岸海滩相逐渐演变为晚期的温暖潮湿近岸海湾(潟湖或潮坪)相<sup>①</sup>.

### 3) 上石炭统下加岭组( $C_{2x}$ )

下加岭组岩性以厚层—巨厚层泥晶灰岩为主,向上变薄,发育巨厚层灰岩—中厚层灰岩—中层灰岩的沉积序列,发育水平层理.由巨厚层泥晶灰岩、中厚层泥晶灰岩、中层泥晶灰岩组成基本层序,整体为碳酸盐岩组成的沉积旋回,为碳酸盐台地相沉积.上部为深灰—灰黑色中薄层灰岩与钙质泥质板岩或含炭板岩组成的层序,向上板岩增多,反映了浅海陆棚相沉积的特点.

### 4) 中—下二叠统十里墩组( $P_{1-2s}$ )

十里墩组下部主体岩性为灰色中薄层长石石英砂岩与灰色—深灰色中厚层—厚层粉砂岩、深灰色铁质泥质粉砂质板岩互层或夹层,夹少量灰色生物碎屑灰岩.磨圆度一般,成熟度一般.其基本层序表现为向上

变细的正粒序.发育大量珊瑚类、蠕类、有孔虫和苔藓虫、海绵、水螅等造礁生物,以及少量海百合、腹足类、腕足类、钙藻类等附礁生物,为堡礁或堤礁沉积.以上特征表明十里墩组上部为浅海陆棚内的堡礁或堤礁建造(图5).

### 5) 下三叠统隆务河组( $T_{1l}$ )

隆务河组总体为一套灰绿色厚层砂岩、灰黑色粉砂岩、粉砂质板岩夹薄层细砂岩、灰岩沉积.下部厚层砂岩较多,宏观露头为巨厚层—厚层;中部砂岩减少,粉砂岩增多;上部偶夹厚层砂岩,出现灰岩夹层.总体向上变细,海水变深.隆务河组可识别出3类基本层序,反映了水动力条件较强、陆源碎屑物较充足的大陆斜坡浊流沉积.

### 6) 中三叠统光盖山组( $T_{2gg}$ )

光盖山组整体以钙质含量较高的细碎屑岩为主,夹粉砂岩、粉砂质板岩、钙质粉砂岩、中薄层灰岩,局部可见厚层粗砂岩.可识别出4组基本层序.

总体向上物质变粗,反映了水体由深变浅的特征.同时光盖山组砂岩、粉砂岩中重荷模、槽模等层面构造及粒序层理、平行层理、交错层理、爬升层理、水平层理较为发育,鲍马层序屡见不鲜,显示大陆斜坡(半深海)浊流沉积特征.

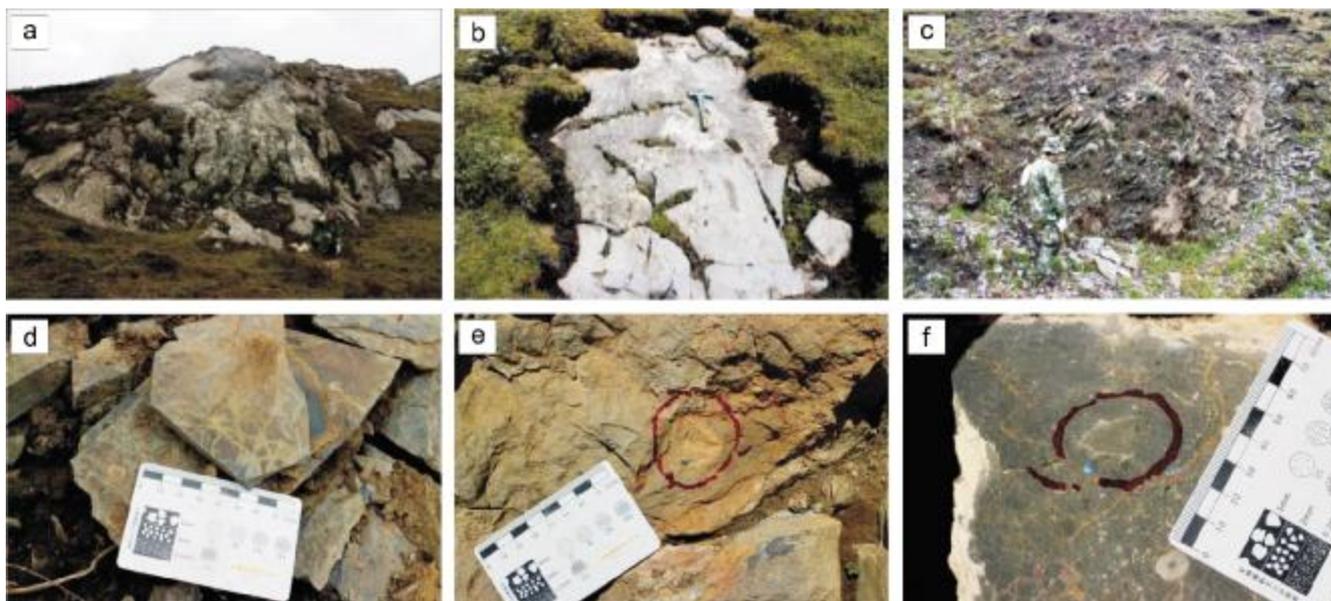


图4 巴都组上段地层野外特征

Fig. 4 Field characteristics of the upper member of Badu Formation

a、b—灰岩露头(limestone outcrop); c—板岩夹层(slate interlayer); d—板岩中植物化石(plant fossils in slate); e、f—腕足类化石(brachiopod fossils)

①中国地质调查局西安矿产资源调查中心. 甘肃美武—临潭区域地质调查报告. 2019.

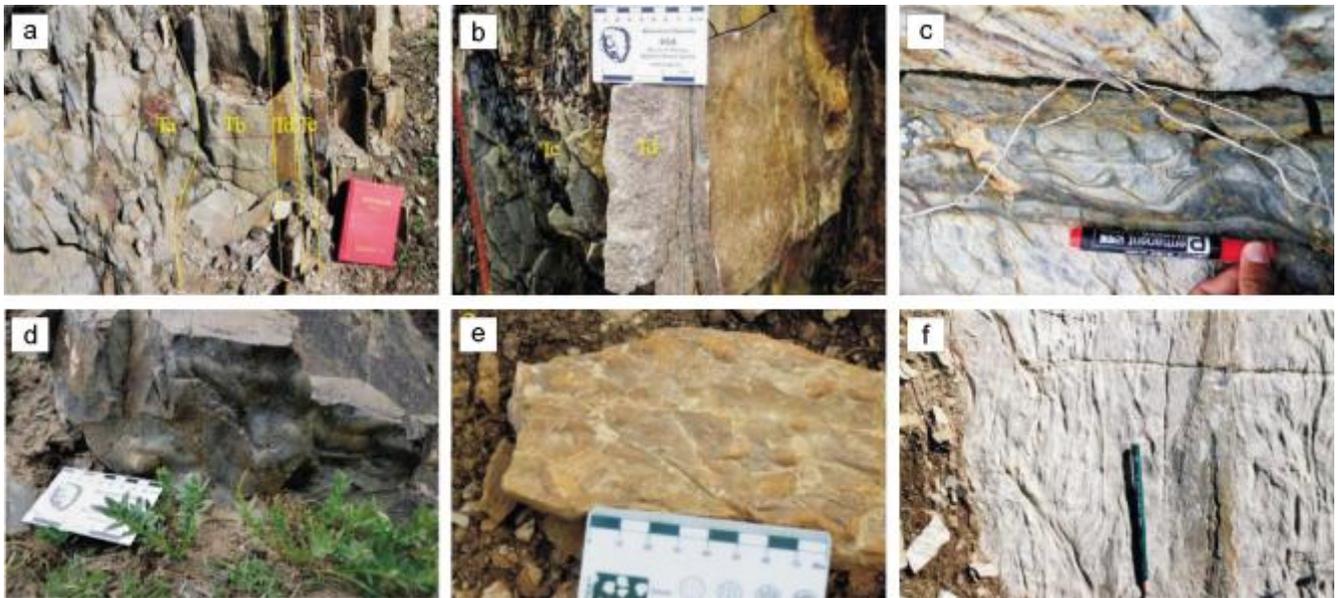


图5 十里墩组野外特征

Fig. 5 Field characteristics of Shilidun Formation

a、b—鲍马序列(Bouma sequence); c—包卷层理(convolute bedding); d、e—鲍马序列底部重荷模构造(load cast structure at the bottom of Bouma sequence); f—软沉积构造(soft sedimentary structure)

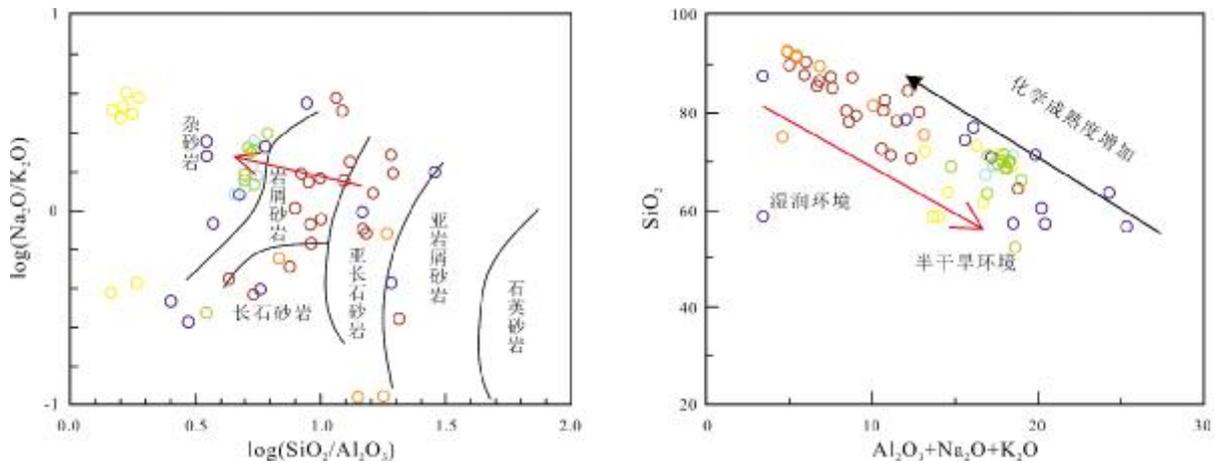


图6 西秦岭造山带泥盆纪—三叠纪砂岩沉积环境判别图

(据文献[15])

Fig. 6 Sedimentary environment discrimination diagram of Devonian-Triassic sandstone in West Qinling orogenic belt

(From Reference [15])

1—大草滩组(Dacaotan fm.); 2—巴都组(Badu fm.); 3—十里墩组(Shilidun fm.); 4—隆务河组(Longwuhe fm.); 5—光盖山组(Guanggaishan fm.); 6—大河坝组(Daheba fm.)

### 7) 上三叠统大河坝组(T<sub>3</sub>d)

大河坝组整体为旋回沉积, 底部以灰绿色中粗粒巨厚层—厚层岩屑长石砂岩为主, 上部为浅灰绿色中薄层砂岩与灰黑色粉砂质板岩互层, 顶部为灰黑色粉砂质板岩夹薄层细砂岩. 大河坝组砂岩中发育粒序层理、平行层理、交错层理、包卷层理、水平层理及波痕,

底部多发育重荷模.

大河坝组在区域上无论是地层划分还是时代归属或者沉积环境争议均较大. 经过本次调查研究, 根据基本层序分析认为大河坝组沉积环境应为浅海陆棚—滨海沉积序列. 岩石单层厚度大、砂岩主体为杂砂岩说明物源供应充分, 搬运距离短, 反映三叠纪晚期研究

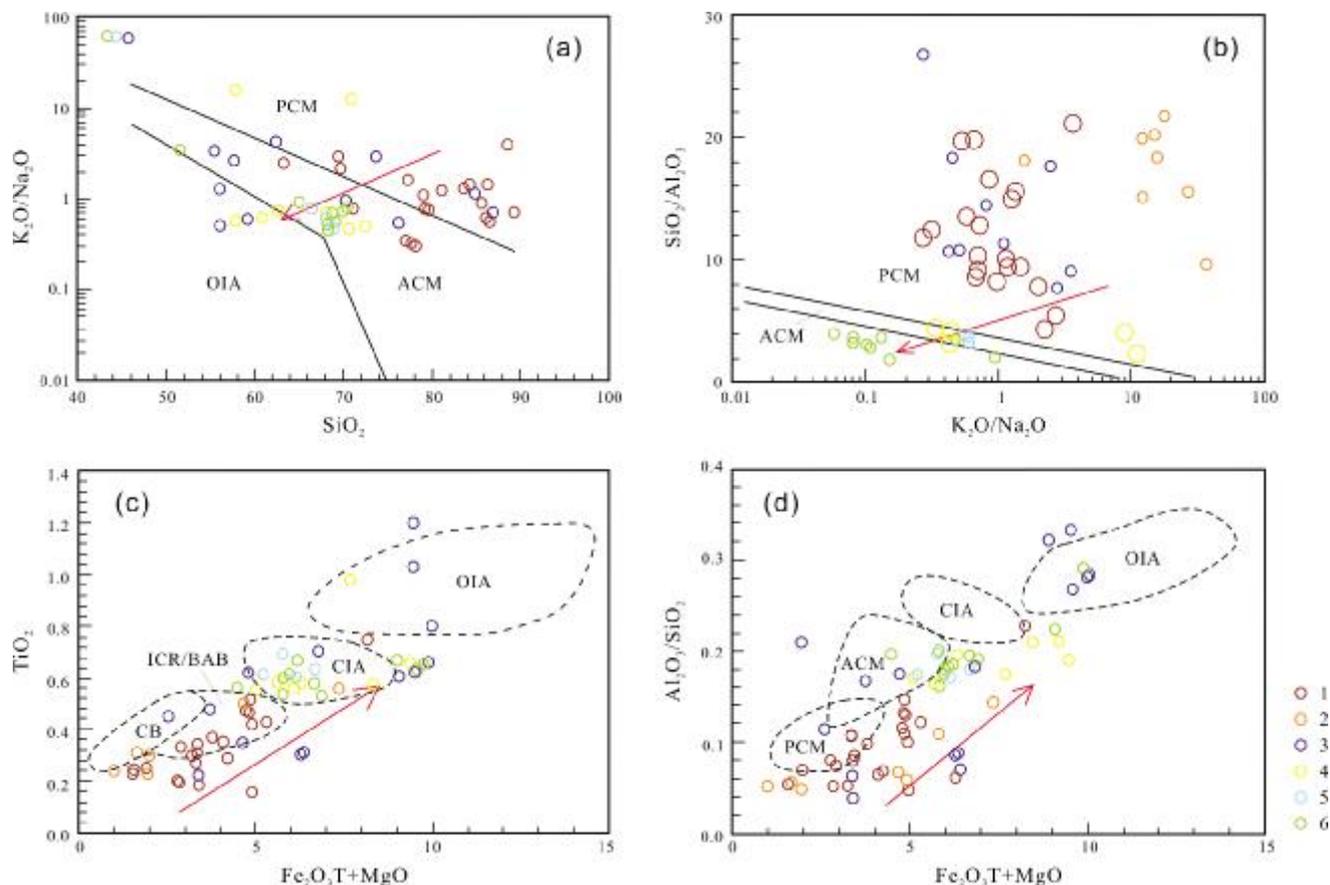


图 7 西秦岭造山带泥盆纪—三叠纪砂岩构造环境判别图  
(据文献[15]修改)

Fig. 7 Tectonic environment discrimination diagram of Devonian-Triassic sandstone in West Qinling orogenic belt  
(Modified from Reference [15])

1—大草滩组(Dacaotan fm.); 2—巴都组(Badu fm.); 3—十里墩组(Shilidun fm.); 4—隆务河组(Longwuhe fm.); 5—光盖山组(Guanggaishan fm.); 6—大河坝组(Daheba fm.); OIA—大洋岛弧(oceanic island arc); CIA—大陆岛弧(continental island arc); ICR/BAB—大陆壳内裂谷或弧后盆地(intracontinental rift or back-arc basin); CB—克拉通盆地(craton basin); ACM—活动大陆边缘(active continental margin); PCM—被动大陆边缘(passive continental margin)

区可能为快速海退环境. 在大河坝组地层中发现波痕及新芦木(*Neocalamites*)化石, 据此认为大河坝组应为晚三叠世的滨浅海陆源碎屑沉积.

#### 4 分析测试数据

沉积物的化学成分可有效的反映源区大地构造背景及母岩的某些特征, 因此多根据泥岩、细砂岩等细碎屑岩的主量、微量、稀土元素特点来追溯源区背景, 反演母岩性质.

主量、微量、稀土分析测试由西安矿产资源调查中心实验室完成, 主量元素使用 X 射线荧光分析(XRF), 微量元素使用仪器为电感耦合等离子体质谱

谱仪(ICP-MS 法). 实验过程中室内温度为 20 ℃, 相对湿度 30%. 主量元素分析误差优于 3%, 稀土和微量元素分析误差优于 5%. 分析结果如表 2、3、4 (扫描首页 OSID 二维码可见).

#### 5 沉积盆地性质及构造背景分析

大草滩组砂岩具有较高的 SiO<sub>2</sub> 含量, 平均值 81.9%; 巴都组砂岩 SiO<sub>2</sub> 含量平均值 86.46%; 十里墩组砂岩 SiO<sub>2</sub> 含量平均值 68.75%; 隆务河组砂岩 SiO<sub>2</sub> 含量平均值 65.43%; 光盖山组砂岩 SiO<sub>2</sub> 含量平均值 69.2%; 大河坝组砂岩 SiO<sub>2</sub> 含量平均值 66.18%. 砂岩中 SiO<sub>2</sub> 含量的减少表明砂岩成熟度降低. 并且 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/

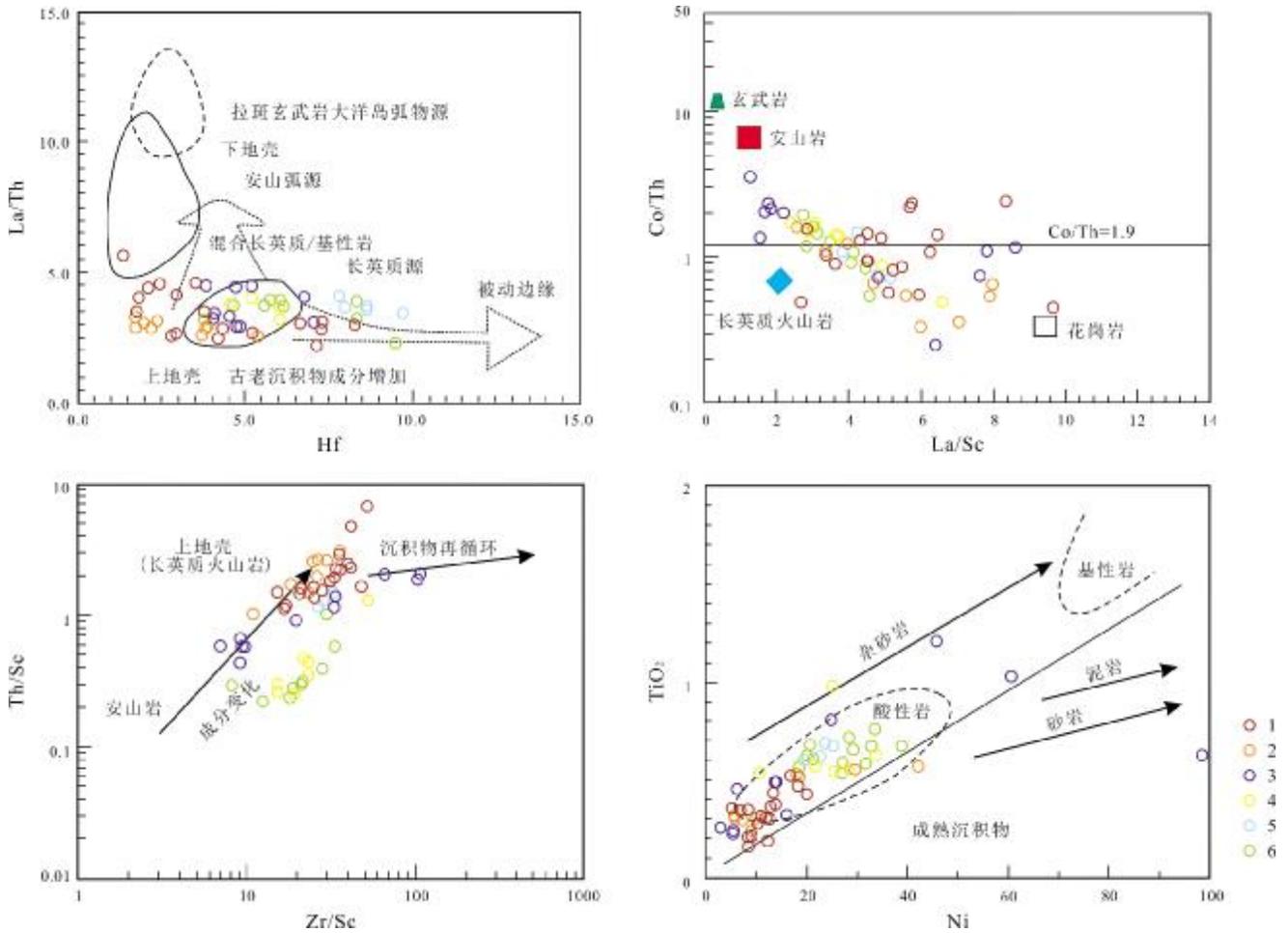


图8 西秦岭造山带泥盆纪—三叠纪砂岩 La-Th-Sc-Zr 构造环境判别图  
(据文献[15]修改)

Fig. 8 The La-Th-Sc-Zr tectonic environment discrimination diagram of Devonian-Triassic sandstone in West Qinling  
(Modified from Reference [15])

1—大草滩组(Dacaotan fm.); 2—巴都组(Badu fm.); 3—十里墩组(Shilidun fm.); 4—隆务河组(Longwuhe fm.); 5—光盖山组(Guanggaishan fm.); 6—大河坝组(Daheba fm.)

SiO<sub>2</sub> 值整体上没有明显的变化, 表明未经历强烈的蚀变、搬运或再造作用. 从样品的投图特征(图6)也可以看出, 大草滩组、巴都组砂岩整体的成分成熟度较高, 这与大草滩组深湖—半深湖还原环境到浅湖氧化环境的沉积相变化<sup>[16-17]</sup>, 以及巴都组浅海环境的沉积相变化是相符的. 十里墩组、隆务河组、光盖山组、大河坝组砂岩的成分成熟度低, 物源供应充足, 搬运距离短, 具快速堆积的特点. 总体来说, 从上泥盆统大草滩组到上三叠统大河坝组地层砂岩碎屑成熟度逐渐降低, 沉积环境由湿润环境向半干旱环境转变.

地球化学反映了物源区构造背景(图7a、b), 大草滩组砂岩样品中 K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O 比值总体集中在 0.28~2.74

之间, 被动陆缘占绝对优势, 说明大草滩组蚀源区具有被动大陆边缘属性. 少量活动陆缘物质组分显示, 沉积于被动大陆边缘的沉积岩也记录了活动大陆边缘的信息<sup>[18-19]</sup>. 巴都组砂岩样品中 K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O 值集中在 1.67~28.28 之间, 所有点具有被动大陆边缘背景. 十里墩组砂岩样品中 K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O 值集中在 0.29~3.83 之间, 活动陆缘相对占优势. 隆务河组砂岩样品中 K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O 值集中在 0.41~14.16 之间, 样品点具有活动大陆边缘、被动大陆边缘及大洋岛弧背景. 光盖山组砂岩样品中 K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O 集中在 0.17~0.19 之间, 所有点具有活动大陆边缘背景. 大河坝组砂岩样品中 K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O 集中在 0.41~14.16 之间, 样品点具有活动大陆边缘、岛弧

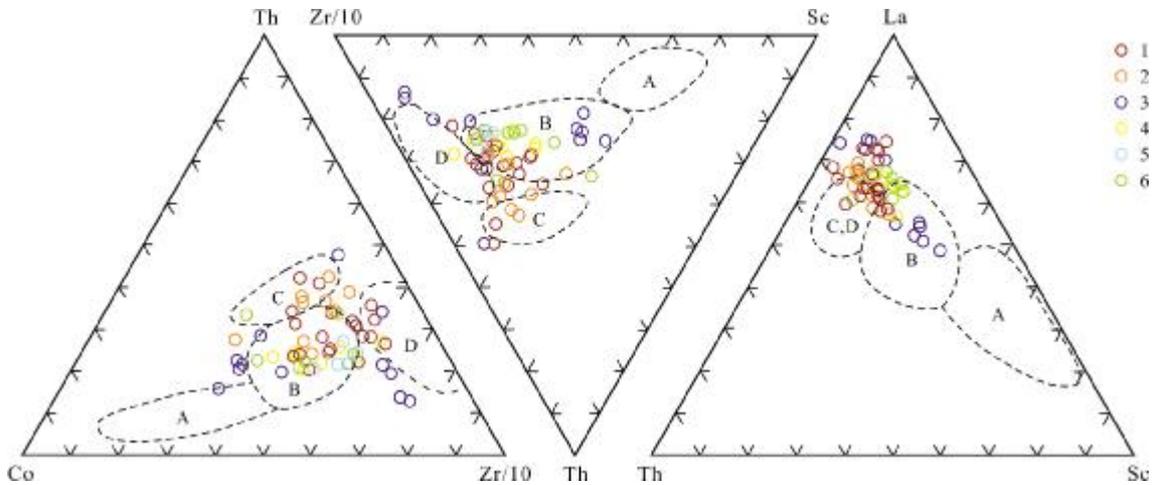


图9 西秦岭造山带泥盆纪—三叠纪砂岩源区判别图

(据文献[15])

Fig. 9 Discrimination diagrams of Devonian-Triassic sandstone source area in West Qinling orogenic belt

(After Reference [15])

1—大草滩组(Dacaotan fm.); 2—巴都组(Badu fm.); 3—十里墩组(Shilidun fm.); 4—隆务河组(Longwuhe fm.); 5—光盖山组(Guanggaishan fm.); 6—大河坝组(Daheba fm.); A—大洋岛弧(oceanic island arc); B—大陆岛弧(continental island arc); C—活动大陆边缘(active continental margin); D—被动大陆边缘(passive continental margin)

背景. 从  $(\text{TFe}_2\text{O}_3+\text{MgO})-\text{TiO}_2$  图解和  $(\text{TFe}_2\text{O}_3+\text{MgO})-\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$  图解(图 7c、d)也可以看出:大草滩组、巴都组蚀源区具有被动大陆边缘属性,十里墩组蚀源区具有活动大陆边缘属性,随着构造运动,越来越多基底物质的加入,使沉积于活动大陆边缘的沉积岩也记录了被动大陆边缘的信息.隆务河组、光盖山组、大河坝组蚀源区具有大陆岛弧或活动大陆边缘属性.

从 La-Th-Sc-Zr 构造环境判别图解(图 8)可以看出,大草滩组、巴都组、十里墩组、隆务河组、大河坝组砂岩极大多数样品落入上地壳长英质火山岩源. Ni-Ti 图解中, Ti 的含量相对较低,但 Ni 的含量变化范围较大,样品大部分落入酸性岩区域.只有光盖山组砂岩大部分落入上地壳长英质火山岩源附近,显示出与古老沉积物相关的特征,表明光盖山组物源有古老沉积物的加入.

利用 Th-Co-Zr/10、Th-Sc-Zr/10、La-Th-Sc 图解(图 9)对砂岩样品进行了分析,结果显示:大草滩组、巴都组砂岩的主要物源来自被动大陆边缘;十里墩组砂岩中既显示了活动大陆边缘的特征,又有被动大陆边缘的记录,同时有大陆岛弧的物质加入;隆务河组、光盖山组、大河坝组砂岩的主要物源来自大陆岛弧或

者活动大陆边缘.体现了区内晚古生代—三叠纪构造环境由被动大陆边缘→活动大陆边缘→大洋岛弧的演变趋势<sup>[20]</sup>.

## 6 盆地演化

大草滩组总体是一套湖盆陆源碎屑沉积.巴都组为近岸海湾(潟湖或潮坪)相沉积;十里墩组是一套浅海陆棚碎屑沉积,发育堡礁或堤礁建造;隆务河组总体为一套陆源碎屑物较充足的斜坡相浊流沉积,岩层粒度总体向上变细,海水变深,反映了水体经历了由浅至深的海侵过程;光盖山组碎屑岩整体具有大陆斜坡半深海浊流沉积特征;大河坝组是一套沉积于滨浅海环境的中粗粒碎屑岩.

综合分析可知,从石炭系→二叠系→三叠系,水体经历了浅→深→浅的变化过程,其中早中二叠世—早三叠世水体加深,中三叠世水体最深,到晚三叠世(大河坝组为代表)水体完全变浅,水体深浅和沉积相序的变化反映盆地经历了先开裂再萎缩的演化过程(图 10).

因此将研究区泥盆纪—三叠纪沉积盆地的形成演化划分为 3 个阶段:被动大陆边缘台盆台地稳定发育阶段、弧后盆地形成演化阶段和弧后前陆盆地叠合阶段.

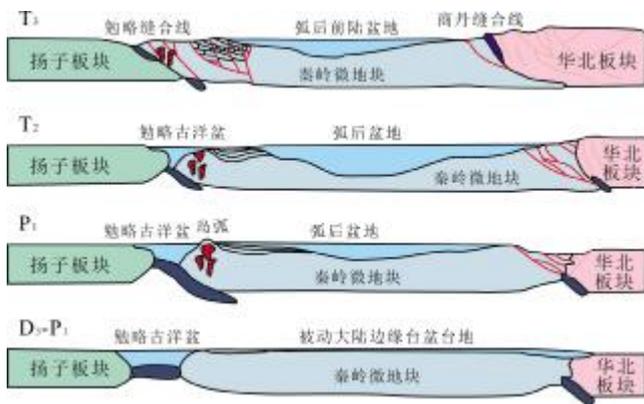


图 10 西秦岭临潭地区泥盆纪—三叠纪沉积盆地演化示意图  
(据文献[21]修改)

Fig. 10 Sketch of Devonian-Triassic sedimentary basin evolution in Lintan area, West Qinling  
(Modified from Reference [21])

### 1) 被动大陆边缘台盆台地稳定发育阶段(D<sub>3</sub>—P<sub>1</sub>)

大草滩组为陆相湖相沉积, 石炭世—早二叠世沉积环境趋于稳定, 西秦岭临潭地区总体上是稳定的浅海陆棚相、台地相碳酸盐岩沉积。

### 2) 洋壳俯冲背景下的弧后盆地(P<sub>1</sub>—T<sub>2</sub>)

早中二叠世十里墩组的沉积代表了裂隙作用的发生。华北板块南缘古老结晶基底是十里墩组的主要物源。源区物质主要为具有活动大陆边缘性质的岩浆岩、早期地层及古老基底岩石。晚古生代—早中生代的沉积盆地应为一受控于勉略洋发展演化的弧后盆地。早二叠世之后, 裂隙作用继续发展。该弧后盆地伴随着勉略洋向北俯冲消减而开始初始拉张, 到晚二叠世局部地区出现了洋壳, 至中三叠世早期, 该弧后盆地扩张到最大。

### 3) 陆—陆(弧)碰撞背景下的弧后前陆盆地(T<sub>3</sub>)

晚三叠世洋盆闭合, 弧后盆地也同期关闭, 洋盆及弧后盆地两侧的扬子地块与岩浆弧及秦岭微地块(+华北板块)发生碰撞拼合。与此同时, 早中二叠世—中三叠世早期地层为代表的弧后盆地转变为中—上三叠世大河坝组滨浅海沉积为代表的弧后前陆盆地<sup>[22]</sup>, 盆地原型的演变记录了研究区勉略古洋盆由俯冲向碰撞转变的复杂的地球动力学过程。

## 7 结论

### 1) 根据岩石组合、岩石学和地球化学特征恢复了

西秦岭临潭地区上泥盆统到上三叠统沉积环境。从上泥盆统到上三叠统地层砂岩碎屑成熟度逐渐降低, 沉积环境由湿润环境向半干旱环境转变。其中大草滩组、巴都组蚀源区具有被动大陆边缘属性, 十里墩组蚀源区具有活动大陆边缘属性, 隆务河组、光盖山组、大河坝组蚀源区具有大陆岛弧或活动大陆边缘属性。

2) 通过沉积环境恢复和构造属性分析, 确认研究区泥盆纪—早二叠世为被动大陆边缘台盆台地演化阶段; 早中二叠世至中三叠世早期处于弧后盆地演化阶段; 晚三叠世进入弧后前陆盆地演化阶段。

## 参考文献(References):

- [1] 陈岳龙, 李大鹏, 周建, 等. 中国西秦岭碎屑锆石 U-Pb 年龄及其构造意义[J]. 地学前缘, 2008, 15(4): 88-107.  
Chen Y L, Li D P, Zhou J, et al. U-Pb ages of zircons in Western Qinling Mountain, China, and their tectonic implications[J]. Earth Science Frontiers, 2008, 15(4): 88-107.
- [2] 王宗起, 王涛, 闫臻, 等. 秦岭晚古生代弧前增生的背驮型盆地体系[J]. 地质通报, 2002, 21(8/9): 456-464.  
Wang Z Q, Wang T, Yan Z, et al. Late Paleozoic forearc accretionary piggyback type basin system in the South Qinling, Central China[J]. Geological Bulletin of China, 2002, 21(8/9): 456-464.
- [3] 李春昱, 刘仰文, 朱宝清, 等. 秦岭及祁连山构造发展史[J]. 西北地质科技情报, 1978(4): 1-12.  
Li C Y, Liu Y W, Zhu B Q, et al. Tectonic development history of Qinling Mountains and Qilian Mountains[J]. Northwestern Geology, 1978(4): 1-12. (in Chinese)
- [4] 张国伟. 华北地块南部早前寒武纪地壳的组成及其演化和秦岭造山带的形成及其演化[J]. 西北大学学报, 1988, 18(4): 21-23.  
Zhang G W. The composition and evolution of the early Precambrian crust and the formation and evolution of the Qinling orogenic belt in the southern part of the North China Block [J]. Journal of Northwest University, 1988, 18(4): 21-23. (in Chinese)
- [5] 张国伟, 张本仁, 袁学诚, 等. 秦岭造山带与大陆动力学[M]. 北京: 科学出版社, 2001.  
Zhang G W, Zhang B R, Yuan X C, et al. Qinling orogenic belt and continental dynamics[M]. Beijing: Science Press, 2001. (in Chinese)
- [6] 任纪舜. 中国大陆构造的基本模型[J]. 地球学报, 1995(3): 328-330.  
Ren J S. The model of Chinese continental tectonics [J]. Acta Geoscientia Sinica, 1995(3): 328-330. (in Chinese)
- [7] 杨瀚文. 西秦岭美武一带三叠纪岩体的岩石地球化学、年代学及其地质意义[D]. 北京: 中国地质大学, 2018.  
Yang H W. Geochemical, geochronology, and tectonic significance of Triassic Meiwu pluton in the Western Qinling Orogen [D]. Beijing:

- China University of Geosciences, 2018. (in Chinese)
- [8]孙瑞文. 西秦岭泥盆系层状层控铅锌矿带中东段矿床成因及成矿模式浅析[J]. 广东科技, 2012, 21(13): 153, 142.
- Sun R W. Genesis and metallogenic model of the deposits in the middle eastern segment of the Devonian stratabound Pb-Zn ore belt in the West Qinling Mountains[J]. Guangdong Science and Technology, 2012, 21(13): 153, 142. (in Chinese)
- [9]骆必继, 张宏飞, 肖尊奇. 西秦岭印支早期美武岩体的岩石成因及其构造意义[J]. 地质前缘, 2012, 19(3): 199-213.
- Luo B J, Zhang H F, Xiao Z Q. Petrogenesis and tectonic implications of the Early Indosinian Meiwu pluton in West Qinling, Central China [J]. Earth Science Frontiers, 2012, 19(3): 199-213.
- [10]赖绍聪, 张国伟, 杨永成, 等. 南秦岭勉县-略阳结合带变质火山岩岩石地球化学特征[J]. 岩石学报, 1997, 13(4): 563-573.
- Lai S C, Zhang G W, Yang Y C, et al. Petrology and geochemistry features of the metamorphic volcanic rocks in Mianxian-Lueyang suture zone, South Qinling[J]. Acta Petrologica Sinica, 1997, 13(4): 563-573.
- [11]Roser B P, Korsch R J. Plate tectonics and geochemical composition of sandstones: A discussion[J]. The Journal of Geology, 1985, 93(1): 81-84.
- [12]Ross B P, Korsch R J. Determination of tectonic setting of sandstone-mudstone suites using SiO<sub>2</sub> content and K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O ratio [J]. The Journal of Geology, 1986, 94(5): 635-650.
- [13]Cullers R L, Podkovyrov V N. The source and origin of terrigenous sedimentary rocks in the Mesoproterozoic U<sub>i</sub> Group, southeastern Russia[J]. Precambrian Research, 2002, 117(3/4): 157-183.
- [14]张渝金, 吴新伟, 杨雅军, 等. 大兴安岭北段泥盆纪大民山组硅质岩地球化学特征及沉积环境[J]. 地质与资源, 2015, 24(3): 173-178.
- Zhang Y J, Wu X W, Yang Y J, et al. Geochemistry and sedimentary environment of the siliceous rocks from Devonian Damingshan Formation in northern Daxinganling [J]. Geology and Resources, 2015, 24(3): 173-178.
- [15]徐多勋, 魏立勇, 张振, 等. 西秦岭临潭地区隆务河组碎屑锆石 U-Pb 年龄、地球化学特征及沉积环境分析[J]. 西北地质, 2020, 53(2): 102-125.
- Xu D X, Wei L Y, Zhang Z, et al. U-Pb Age, geochemical characteristics and sedimentary environment analysis of detrital zircons from the Longwuhe Formation in Lintan area, West Qinling [J]. Northwestern Geology, 2020, 53(2): 102-125.
- [16]陈义兵, 张国伟, 裴先治, 等. 西秦岭大草滩群的形成时代和构造意义探讨[J]. 沉积学报, 2010, 28(3): 579-584.
- Chen Y B, Zhang G W, Pei X Z, et al. Discussion on the formation age and tectonic implications of Dacotan Group in West Qinling[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2010, 28(3): 579-584.
- [17]苏春乾, 崔建军, 赵欣, 等. 西秦岭大草滩组的再厘定及地质属性讨论[J]. 煤田地质与勘探, 2006, 34(3): 1-6.
- Su C Q, Cui J J, Zhao X, et al. Re-definition and its attribute of the Dacotan Formation in Western Qinling [J]. Coal Geology & Exploration, 2006, 34(3): 1-6.
- [18]Siebel W, Schmitt A K, Danišik M, et al. Prolonged mantle residence of zircon xenocrysts from the western Eger rift[J]. Nature Geoscience, 2009, 2(12): 886-890.
- [19]Grimes C B, John B E, Kelemen P B, et al. Trace element chemistry of zircons from oceanic crust: A method for distinguishing detrital zircon provenance[J]. Geology, 2007, 35(7): 643-646.
- [20]张建军, 牟传龙, 周恩恩, 等. 滇西户撒盆地芒棒组砂岩地球化学特征及物源区和构造背景分析[J]. 地质学报, 2017, 91(5): 1083-1096.
- Zhang J J, Mu C L, Zhou K K, et al. Geochemical characteristic of sandstones from the Mangbang Formation in the Husa Basin, Western Yunnan, and its constraints on provenances and tectonic setting[J]. Acta Geologica Sinica, 2017, 91(5): 1083-1096.
- [21]高翔宇. 西秦岭临潭地区晚古生代沉积地层地质特征及地质意义[D]. 西安: 长安大学, 2019.
- Gao X Y. Geological features and geological significance of Late Paleozoic depositional stratum in the Lintan area of the West Qinling Orogen[D]. Xi'an: Chang'an University, 2019.
- [22]高翔宇, 裴先治, 李佐臣, 等. 西秦岭临潭地区十里墩组上段形成时代及物源: 来自 LA-ICP-MS 碎屑锆石 U-Pb 年龄的证据[J]. 地球科学, 2019, 44(4): 1389-1414.
- Gao X Y, Pei X Z, Li Z C, et al. Age and provenance of upper Shilidun Formation, Lintan, West Qinling Orogen: Constraints from LA-ICP-MS U-Pb dating of detrital zircons[J]. Earth Science, 2019, 44(4): 1389-1414.