

文章编号:1000-0550(2011)03-0427-13

# 鄂尔多斯盆地西缘晚三叠世构造—沉积环境分析

杨 华<sup>1 2</sup> 付金华<sup>1 2 3</sup> 欧阳征健<sup>1 3</sup> 孙六一<sup>1 3</sup>

(1. 低渗透油气田勘探开发国家工程实验室 西安 710018; 2. 中国石油长庆油田分公司 西安 710018;

3. 中国石油长庆油田分公司勘探开发研究院 西安 710018)

**摘 要** 鄂尔多斯盆地西缘长期以来是地质学家所关注的热点,特别是晚三叠世的物源和形成构造—沉积环境颇具争议。砂岩碎屑组成、碎屑重矿物、地球化学成分、砾岩组成、古水流以及构造变形研究表明,晚三叠世西缘不同地区的物源和构造—沉积环境具有一定的差异性。北部贺兰山地区晚三叠世沉积主要形成于克拉通边缘,巴彦浩特地区为其主要物源区,阿拉善地块为次一级物源区,古流向以由西向东为主,沉积环境由扇三角洲向湖泊环境过渡,该时期为区域挤压背景下的裂谷盆地发育阶段;中部石沟驿地区上三叠统延长组沉积厚度达3 000 m左右,砂岩以长石岩屑砂岩为主,物源区以阿拉善地块为主,古流向由北西向南东,沉积环境为辫状河三角洲沉积环境,构造背景较为复杂,为整体挤压背景下的断陷盆地;南部平凉地区物源主要来自下伏地层和秦祁造山带,古水流主体由南西向北东方向,主体为冲积扇沉积环境,为前陆盆地发育阶段。可见,盆地西缘晚三叠世不同地区具有不同物源属性与构造—沉积环境,并非统一的“类”前陆盆地发育阶段。

**关键词** 晚三叠世 碎屑组成 重矿物 地球化学 源区 构造—沉积环境

**第一作者简介** 杨华 男 1963年出生 博士后 教授级高级工程师

**通讯作者** 欧阳征健 E-mail: ouyangzhengjian@126.com

**中图分类号** P534.51 **文献标识码** A

## 0 前言

鄂尔多斯盆地西缘因其构造位置的独特性,长期以来成为国内外地质学家关注的“热点”。特别是20世纪70年代以来,随着板块构造理论的引进,中国西部地区引入前陆盆地油气勘探理论之后,在山前复杂冲断推覆构造带上开展了油气勘探,取得了一些进展和认识。具有类似于“前陆冲断带”特征的鄂尔多斯盆地西缘再次成为油气地质与勘探工作者关注的地区,且争议较大,特别是关于盆地西缘晚三叠世原型盆地的构造—沉积环境具有不同看法,可以归纳为以下几种代表性观点:①发育(类)前陆盆地<sup>[1~8]</sup>;②不是前陆盆地,为残延克拉通内叠合盆地的组成部分<sup>[9~12]</sup>;③由走滑作用形成的走滑—拉分盆地<sup>[13]</sup>;④西缘中北部为边缘断陷沉降构造环境<sup>[14]</sup>;⑤贺兰山地区处于裂谷环境的沉积环境<sup>[15]</sup>。

事实上,前陆盆地发育的构造背景和时限是非常有限的,必须具备其独特的动力学背景。并且原型盆地的恢复必须分阶段、分区域进行分解,而不能笼统的、简单的将不同时期或者相同时期不同构造属性的原型盆地混为一谈。

已有研究表明,砂岩及其中的砾石是盆地物源区

和盆地形成构造—沉积环境的直接记录者<sup>[16~18]</sup>。不同类型沉积盆地中砂岩类型及其组成均不同,对应于不同构造—沉积环境的物源区<sup>[19~21]</sup>;同时砂岩的地球化学特征可为砂岩物源类型和盆地形成构造—沉积环境提供重要依据<sup>[18, 22, 23]</sup>。由此可见,对碎屑岩的碎屑组成和地球化学特征开展研究,可为盆地物源和盆地形成构造环境研究提供明确、直接的信息<sup>[24]</sup>。此外,古流向方法在探讨物质来源、识别大地构造背景、反演古气候和古环境等方面已收到了显著成效<sup>[25~27]</sup>。

本文尝试利用碎屑岩的碎屑组成、重矿物、地球化学组成和砾岩组成,结合古流向和地震勘探等最新资料,探讨鄂尔多斯盆地西缘上三叠统沉积物源,进而讨论晚三叠世的构造—沉积环境。

## 1 区域地质概况

在大地构造位置上,鄂尔多斯盆地西缘处于鄂尔多斯地块、阿拉善地块、河西走廊过渡带与秦—祁造山带等不同构造单元结合部位,位于我国东、西两大构造域的衔接地带。

以青铜峡—固原断裂为界,将鄂尔多斯盆地西缘划分为桌子山—平凉冲断体系和六盘山冲断体系两

收稿日期:2010-05-23; 收修改稿日期:2010-08-10

大部分。桌子山—平凉冲断体系具有东西分带、南北分段的地质特征,自北向南依次划分为桌子山—横山堡段、马家滩—甜水堡段和沙井子—彭阳段(图1)。

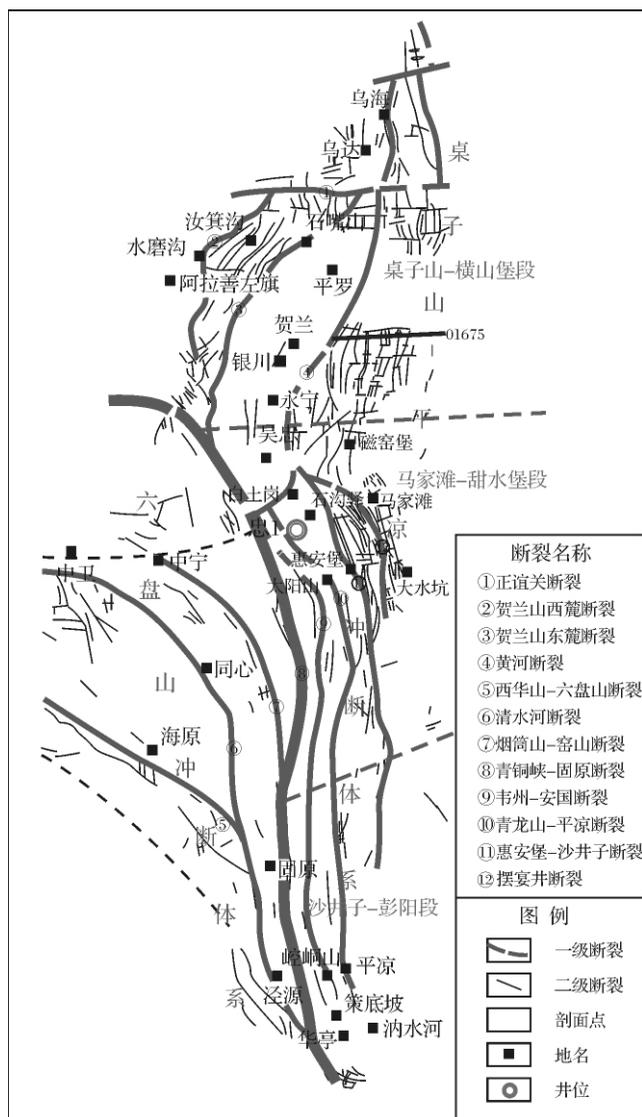


图1 鄂尔多斯盆地西缘构造纲要图  
Fig. 1 Tectonic outline of Triassic period  
in the west margin of Ordos basin

## 2 剖面简介和资料基础

### 2.1 剖面简介

本研究对鄂尔多斯盆地西缘9条三叠系露头剖面(汝箕沟剖面、水磨沟剖面、磁窑堡剖面、石沟驿剖面、白土岗剖面、太阳山剖面、崆峒山剖面、策底坡剖面和汭水河剖面)进行了地质调研及古流向测量。主要测量各种交错层理前积层及所在地层的产状,共测定古水流观测点22个,测量交错层理437组。利

用PC99古流向数据分析软件,将实测古流向数据输入,以10°为间隔自动生成古流向玫瑰图。

### 2.2 分析方法

利用偏光显微镜对石沟驿地区忠1井钻井岩心砂岩铸体薄片中的骨架矿物成分及其含量进行了计数定量统计,每个岩石样品统计的碎屑颗粒总数在200~300范围之内,统计结果见表1。

对汝箕沟剖面、白土岗—石沟驿剖面、崆峒山剖面、策底坡剖面上三叠统延长组砂岩样品进行了重矿物分析。重矿物分析方法是称取样品20g粗粉碎后用10%的盐酸溶液浸泡24h后再煮10~15min,用蒸馏水冲洗干净并烘干,然后粉碎为原样品颗粒大小(如细砂岩即磨成细砂级粒度),再用重液进行分离,将分离后的样品用 $\alpha$ -溴代钠粘在薄片上,晾干后在双筒实体显微镜下鉴定<sup>[28]</sup>。

在野外观察描述的基础上,对汝箕沟剖面、水磨沟剖面和崆峒山剖面上三叠统延长组砾岩中的砾石成分进行了室内统计分析,统计方法详见Dürr<sup>[29]</sup>。

10个上三叠统延长组砂岩样品主要采自盆地西缘汝箕沟、白土岗和石沟驿三个地区。常量、稀土与微量元素分析在西北大学大陆动力学国家重点实验室完成,常量元素采用XRF在RIX-2100仪器上分析,微量元素与稀土元素用ELAN6100DRC等离子体质谱仪(ICP-MS)测定。用标准样BHVO-2、AGV-1和G-2做分析样品元素浓度的校正标准。所有元素精度优于5%,分析结果列于表2与表3。

表1 忠1井上三叠统延长组砂岩碎屑组成统计表

Table 1 Detrital model of the Upper Triassic sandstone of Well Zhong 1

样号	深度/m	Q	F	L	Qm	Lt	Qp	Lv	Ls
1-1	1190.74	30.60	41.00	12.90	29.30	14.20	1.30	4.70	8.20
1-2	1193.02	54.50	25.50	11.30	44.30	21.50	10.20	6.50	4.80
1-3	1195.78	34.40	28.00	31.20	26.20	39.40	8.20	20.60	10.60
2-1	1992.24	41.00	38.50	11.00	38.00	14.00	3.00	7.00	4.00
2-2	1993.20	42.00	38.00	11.50	37.00	16.50	5.00	7.00	4.50
2-3	1993.44	42.50	36.00	13.50	37.00	18.50	5.50	8.00	5.50
2-4	1994.16	42.00	34.00	13.00	36.00	19.00	6.00	8.00	5.00
2-5	1994.64	42.00	31.50	17.00	36.00	23.00	6.00	12.00	5.00
2-6	1995.72	39.50	38.50	11.00	36.00	14.00	3.50	6.00	5.00
2-7	1995.96	40.50	35.50	12.00	37.00	15.00	3.50	8.00	4.00
2-8	1997.04	41.00	39.00	10.00	38.00	13.00	3.00	6.00	4.00
2-9	1997.76	39.00	38.00	12.00	36.00	15.00	3.00	5.00	7.00

说明:石英颗粒(Q)包括单晶石英颗粒(Qm)和多晶石英颗粒(Qp);岩屑(L)包括火成岩屑及其变质岩屑(Lv)和沉积岩屑及其变质岩屑(Ls);总岩屑(Lt)等于不稳定多晶岩屑(L)与多晶石英质岩屑(Qp)之和;F为单晶长石颗粒。

表2 鄂尔多斯盆地西缘上三叠统延长组碎屑岩常量元素分析结果(%)

Table 2 Major element compositions of the Upper Triassic sandstone in the west margin of Ordos basin (%)

样品	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TFe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	LOI	TOTAL
BTG-004	74.86	0.38	11.45	3.24	0.07	1.21	1.46	2.47	2.70	0.08	2.26	100.18
RQG-009	70.81	0.34	11.70	3.46	0.05	1.30	3.11	2.94	1.22	0.15	4.49	99.57
RQG-011	67.43	0.70	12.36	5.14	0.10	2.16	3.07	2.29	1.46	0.36	5.28	100.35
RQG-015	73.44	0.55	9.93	3.34	0.07	1.32	3.41	1.87	1.27	0.14	5.08	100.42
RQG-016	90.95	0.12	5.11	0.69	<0.01	0.16	0.11	<0.01	1.27	0.03	1.18	99.62
RQG-026	77.24	0.33	10.79	3.08	0.07	0.87	0.93	2.31	2.84	0.07	1.26	99.79
RQG-032	86.23	0.28	7.64	1.87	0.02	0.24	0.11	<0.01	1.80	0.02	2.00	100.21
RQG-034	75.76	0.39	10.61	3.28	0.03	1.28	1.00	2.50	2.49	0.08	2.17	99.59
RQG-034R	75.82	0.45	10.72	3.33	0.03	1.30	1.00	2.51	2.51	0.07	2.15	99.89
SGY-001	64.23	0.53	12.38	6.35	0.33	1.37	4.35	0.67	2.42	0.15	6.74	99.52

注:数据由大陆动力学国家重点实验室(西北大学)XRF方法测定

表3 鄂尔多斯盆地西缘上三叠统延长组碎屑岩微量、稀土元素分析结果(μg/g)

Table 3 Trace element compositions of the Upper Triassic sandstone in the west margin of Ordos basin (μg/g)

样品	BTG-04	RQG-09	RQG-11	RQG-15	RQG-16	RQG-26	RQG-32	RQG-34	RQG-34R	SGY-01
Li	15.4	29.5	48.4	30.7	1.53	16.7	5.71	18.7	18.9	22.4
Be	1.47	1.30	1.42	1.07	0.63	1.31	1.03	1.42	1.46	1.76
Sc	7.91	5.20	9.77	5.37	1.55	6.66	3.02	6.67	6.72	8.51
V	48.3	44.4	60.3	39.2	11.3	44.2	18.0	47.2	47.1	61.5
Cr	39.2	40.4	55.2	39.9	8.94	32.8	15.9	46.8	47.3	55.8
Co	112	87.9	73.1	140	261	117	185	116	116	62.1
Ni	14.6	32.3	20.8	11.8	13.7	13.2	8.18	14.4	14.4	26.4
Cu	6.01	6.23	11.3	4.91	2.90	6.38	4.89	4.61	4.65	10.8
Zn	34.4	37.9	52.7	34.0	23.6	33.9	34.0	33.1	33.1	53.7
Ga	12.8	12.3	14.2	11.3	4.92	12.1	8.06	12.3	12.3	13.5
Ge	1.46	1.30	1.45	1.40	1.18	1.50	1.62	1.25	1.24	1.01
Rb	73.2	48.3	56.4	51.0	43.2	79.2	60.9	73.1	73.1	76.7
Sr	196	250	167	218	22.8	211	45.1	210	209	143
Y	16.2	12.6	30.2	17.7	7.37	15.9	12.3	16.0	16.1	20.2
Zr	122	126	377	454	62.2	131	176	217	193	206
Nb	7.62	7.90	13.0	10.8	1.46	7.31	2.18	9.38	9.19	8.88
Cs	1.62	1.28	2.06	1.18	0.68	1.31	1.31	1.33	1.32	2.42
Ba	748	289	372	282	153	728	321	733	742	559
La	38.8	27.0	40.9	48.6	15.2	34.0	19.6	37.2	38.8	28.0
Ce	73.0	52.8	80.2	92.0	29.1	65.4	38.0	70.2	73.4	54.5
Pr	8.11	5.93	9.33	10.4	3.33	7.23	4.43	7.68	8.18	6.25
Nd	28.0	21.1	33.9	36.3	11.6	25.6	15.5	26.7	28.5	22.1
Sm	4.72	3.75	6.15	6.22	2.02	4.40	2.89	4.67	4.89	4.10
Eu	1.05	0.89	1.41	1.04	0.45	1.14	0.63	1.04	1.07	0.93
Gd	4.21	3.34	5.94	5.25	1.78	4.03	2.69	4.18	4.40	3.88
Tb	0.57	0.44	0.84	0.67	0.26	0.54	0.40	0.58	0.58	0.57
Dy	3.13	2.37	4.85	3.36	1.36	2.88	2.21	3.08	3.10	3.30
Ho	0.62	0.46	1.01	0.64	0.28	0.58	0.46	0.59	0.60	0.70
Er	1.71	1.23	2.85	1.73	0.72	1.52	1.24	1.64	1.63	1.98
Tm	0.25	0.18	0.40	0.24	0.099	0.22	0.18	0.23	0.23	0.29
Yb	1.73	1.18	2.76	1.72	0.70	1.53	1.32	1.65	1.61	2.06
Lu	0.25	0.17	0.41	0.26	0.10	0.22	0.20	0.24	0.24	0.31
Hf	3.31	3.13	9.61	11.2	1.66	3.47	4.75	5.54	4.98	5.37
Ta	0.70	0.67	1.02	1.02	0.16	0.67	0.11	0.87	0.87	0.70
Pb	13.6	14.5	11.6	16.0	9.24	13.1	17.2	16.9	17.3	15.2
Th	9.65	6.74	12.6	17.7	4.34	10.3	7.05	10.8	10.9	9.18
U	1.21	1.26	2.71	2.72	0.91	1.18	1.95	1.47	1.45	2.07

注:数据由大陆动力学国家重点实验室(西北大学)ICP-MS方法测定

### 3 构造—沉积环境分析

#### 3.1 砂岩碎屑组成

石沟驿地区忠1井上三叠统延长组砂岩大部分为中、粗粒长石岩屑砂岩、含砾粗粒长石岩屑砂岩。岩石分选度和磨圆度较差,大小混杂,石英、长石与岩屑呈棱角一次棱角状(图2a、b)。石英含量变化范围为30.60%~54.50%;长石以钾长石为主,斜长石为辅,钾长石的含量大致是斜长石含量的3倍,长石绢云母化较为普遍,含量变化在25.50%~41.00%之间;岩屑以火山岩岩屑和变质岩岩屑为主,沉积岩屑次之,岩屑可见花岗片麻岩、混合岩化花岗岩、花岗斑岩,其中花岗片麻岩原岩以正长花岗岩为主,少数为二长花岗岩(图2b;表1),与阿拉善地区造发育大量变质岩、岩浆岩有关。忠1井砂岩碎屑组成表明,石沟驿地区上三叠统延长组由阿拉善地块为该地区提供物源。

#### 3.2 砂岩中的重矿物

砂岩中的重矿物组合类型及其分布可作为物源区分析的重要依据<sup>[30~33]</sup>。从鄂尔多斯盆地上三叠统延长组重矿物组合分区图上可以看出,盆地西缘存在三个重矿物组合区(图3)。

西缘北部贺兰山汝箕沟剖面重矿物以锆石(42.2%)、石榴子石为主(29.5%)、楣石+绿帘石(11.4%)和白钛矿(9.9%)为主,少量金红石+电气石(2.0%)、磁铁矿(2.9%)和赤褐铁矿(0.6%),其中两个锆石含量较高的样品其母岩与阿拉善地区广泛发育的花岗岩息息相关。可见,主要由西北部阿拉

善地区的变质岩、岩浆岩和沉积岩以及巴彦浩特地区的前晚三叠世砂岩提供物源(图3)。

中部汝箕沟地区重矿物以石榴子石(50.7%)、绿帘石(16.1%)、磁铁矿(13.7%)和白钛矿(8.0%)为主,其次为锆石(6.7%)和赤褐铁矿(3.1%),含有少量的金红石(0.1%)、电气石(0.1%)、楣石(0.7%)和硬绿泥石(0.1%)。表明中部石沟驿—白土岗地区物源主要来自阿拉善地区的变质岩、岩浆岩及沉积岩。

西缘南部各剖面重矿物组合存在一定差异:平凉地区以锆石(44.3%)、石榴子石(30.4%)和白钛矿(16.9%)为主,含有少量的金红石(5.4%)、电气石(2.6%)和硬绿泥石(0.5%);崆峒山以赤褐铁矿(70.00%)为主,其次为磁铁矿(30.33%)和锆石(11.00%),含有少量的石榴子石(5.67%)和白钛矿(5.00%);策底坡以赤褐铁矿(82.38%)为主,其次为白钛矿(12.00%)和石榴子石(9.25%),含有少量的锆石(3.50%)、金红石+电气石(0.88%)和楣石+绿帘石(0.25%);汭水河以石榴子石(60.48%)为主,其次为楣石+绿帘石(20.30%)、锆石(6.63%)和白钛矿(6.33%),含有少量赤褐铁矿(2.83%)和金红石+电气石(0.47%)<sup>①</sup>。说明物源主要来自于下伏地层及秦祁造山带变质岩、岩浆岩。

#### 3.3 古流向分析

北部贺兰山地区汝箕沟剖面上三叠统延长组6个观测点古流向范围为32°07′~242°00′,矢量平均值为94°04′(图4),表明研究区北部汝箕沟地区晚三叠世的物源趋势方向是自西向东。

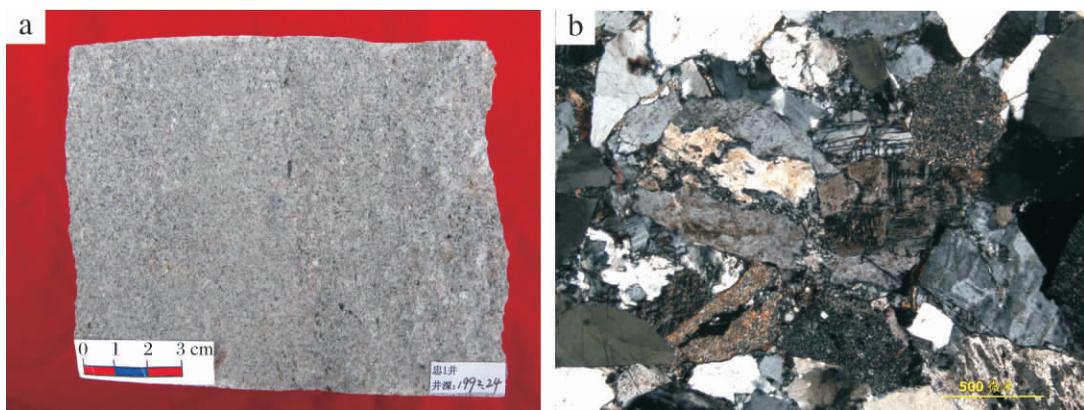


图2 忠1井上三叠统延长组砂岩和显微照片(1992.24m)

a. 砂岩岩心照片(1992.24 m)

b. 砂岩显微照片(1992.24 m)(正交偏光)

Fig. 2 Photomicrograph under cross-polarized light of the Upper Triassic sandstone of Well Zhong 1(1992.24 m)

①马娟萍. 陕北姚店油田北区延长组沉积相及储层微观特征研究[D]. 陕西: 西北大学博士论文, 2008



(100°~170°)方向和西部(270°~290°)方向<sup>②</sup>;策底坡剖面测得古流向数据3处,共测量数据40组,其古水流方向主要为80°~100°,其次为10°~80°,反映古流的总体趋势为自西向东流或自南西向北东流;汭水河剖面测得古流向点16处,共计369组,古水流方向主要为北东(10°~80°)方向,其次为北西(280°~350°)方向,反映古流的总体趋势为自南向北流<sup>③</sup>(图4)。表明研究区南部晚三叠世沉积期主要以西南和南部物源为主<sup>[28]</sup>。

### 3.4 砾岩组成

#### 3.4.1 北部贺兰山地区

盆地西缘北部上三叠统延长组砾岩主要见于贺兰山汝箕沟和水磨沟地区(图1)。汝箕沟地区上三叠统延长组共发育两套砾岩(图5)。其中一套砾岩见于汝箕沟向斜东翼延长组砂岩内部,为层间砾岩。砾石以次棱角一次圆状为主,砾径一般为0.6~5.0 cm,最大可达15 cm,分选中等,无明显的定向性分布;以砂-泥质胶结为主,胶结类型为基底式;成分较为复杂,由粉砂岩(16.6%)、细砂岩(3.4%)、石英粗砂岩(23.9%)、石英砂岩(40.0%)和脉石英(16.1%)组成(图5.6a)。另一套砾岩见于汝箕沟向斜西翼延长组砂岩底部,为底砾岩,砾岩单层厚度1.5~3 m,总厚度1987 m<sup>[10]</sup>。砾石同样以次棱角一次圆状为主,砾径以1~8 cm为主,分选较差,无明显的定向性分布;由粉砂岩(23.6%)、细砂岩(12.3%)、粗砂岩(22.7%)、石英砂岩(33.4%)和脉石英(8.0%)组成。水磨沟剖面砾岩见于内蒙古贺兰山国家

自然保护区延长组底部,为底砾岩,在层位上与汝箕沟剖面底砾岩相同。砾石以次棱角一次圆状为主,砾径以1~10 cm为主,大者5~10 cm,分选差。砂-泥质胶结为主,胶结类型为基底式。砾石由粉砂岩(22.3%)、细砂岩(57.5%)、粗砂岩(22.7%)、石英砂岩(8.4%)和脉石英(5.6%)组成(图6b)。

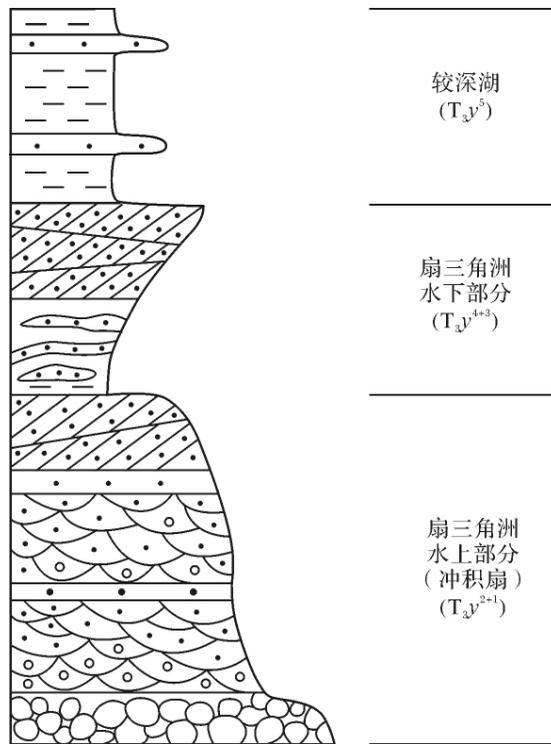


图5 汝箕沟剖面扇三角洲—较深湖沉积序列<sup>[34]</sup>  
Fig. 5 Sedimentary sequence of fan-delta to deep-lake in Rujigou<sup>[34]</sup>

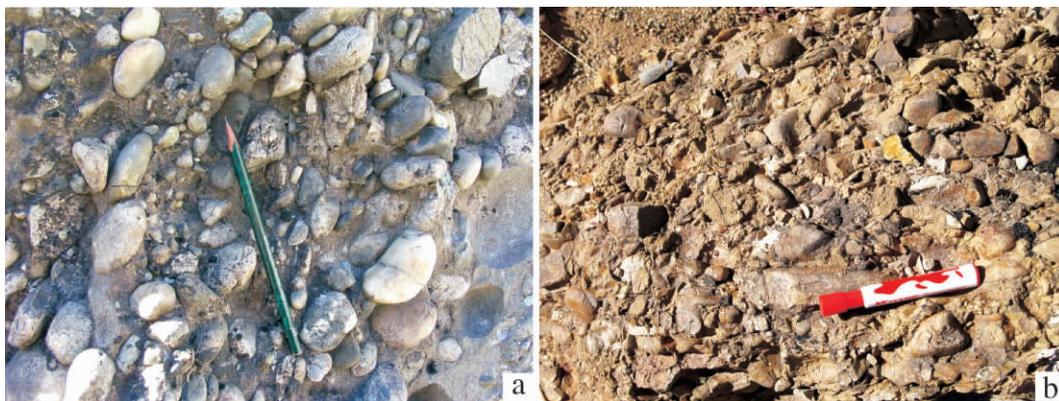


图6 贺兰山延长组砾岩野外照片  
a. 汝箕沟地区; b. 水磨沟地区

Fig. 6 Field photographs of Yanchang Formation in Helangshang area

②罗静兰,李继红,张小会,等.西峰油田长8沉积相研究.长庆油田勘探开发研究院内部资料,2004  
③李博.西峰合水地区长6—长8沉积相古水流方向与物源研究[M].陕西:西北大学硕士论文,2006

汝箕沟、水磨沟剖面延长组砾岩砾石成分统计结果表明,砾岩中的砾石成份主要为砂岩,这与贺兰山西侧巴彦浩特盆地石炭系臭牛沟组、靖远组与羊虎沟组砂岩类型较为一致;钻探结果揭示巴彦浩特盆地缺失三叠系,侏罗系与石炭系不整合接触,共同说明晚三叠世巴彦浩特地区隆起成山,构成贺兰山盆地的最主要的物源。区域资料表明,阿拉善地区广泛发育太古界—古元古界花岗岩、变质岩和加里东期花岗岩,并且常见石英脉体。砾岩中不发育花岗岩砾石,仅见少部分的脉石英砾石,表明阿拉善地区依然为贺兰山地区提供物源,但是已经不是其主要物源。

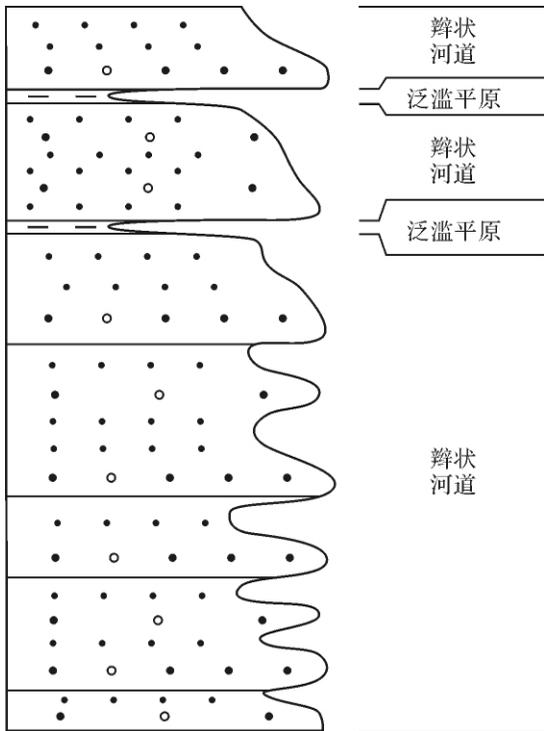


图 7 石沟驿剖面辫状河三角洲平原沉积序列

Fig. 7 Sedimentary sequence of braided-river delta-plain in Shigouyi

### 3.4.2 中部石沟驿地区

石沟驿剖面位于宁夏回族自治区灵武市白土岗镇白尔庄村附近,上三叠统延长组为一套巨厚且沉积旋回性不明显的以砂岩为主的沉积建造(图 7)。砂岩单层厚度几厘米至几米,砂岩中大型槽状交错层理与板状交错层理较为发育,为辫状河三角洲平原辫状河道微相沉积(图 7、8a)。石沟驿剖面延长组未见砾岩层和砾径较大的砾石,砾石零星分布或者顺层产出,次圆状,砾径一般以 1~2 cm 为主(图 7、8b)。最新区域探井忠 1 井钻探证实延长组厚度为 2 386.4 m,岩性以中—粗粒岩屑长石砂岩、含砾粗粒岩屑长石砂岩为主,发育少量细粒岩屑长石砂岩、含砾粗粒岩屑砂岩,偶夹薄层粉砂岩和泥岩(图 2)。可见,石沟驿地区砾岩不太发育,砾石磨圆度较好,成分主要为硅质,与北部贺兰山地区、南部平凉—华亭砾岩完全不同,主要来源火山岩比较发育的阿拉善地区。

### 3.4.3 南部平凉—华亭地区

南部上三叠统延长组砾岩主要见于平凉崆峒山和华亭策底坡地区(图 1)。崆峒山砾岩分布于甘肃平凉崆峒山至大台子之间,在崆峒山和太统山一带沉积物最粗,厚度也最大,可达 2 240 m<sup>[35]</sup>。向东粒度急剧变细,厚度减薄;颜色遂由红变绿<sup>[10]</sup>。磨圆度较差,次圆状—次棱状,大小混杂,砾岩单层厚度一般为 1~2 m;砾径一般为 2~25 cm,最大可达 1 m;砾石成分较为复杂,由灰黑色细—粉砂岩(13%)、灰色石英砂岩(8%)、紫红色细—粉砂岩(22%)、灰岩(17%)、泥灰岩(36%)与蓟县系硅质条带白云岩(4%)组成(图 9、10a)。灰岩砾石的发育表明该地区晚三叠世时隆起相当之高,巨大的高差和强烈的剥蚀导致下古生界灰岩已经出露地表并向东侧的沉积区提供物源。



图 8 石沟驿地区延长组野外照片

a. 长 9 油层组砂岩透镜体及其中发育的交错层理; b. 长 8 段油层组含砾粗砂岩

Fig. 8 Field photographs of Yanchang Formation in Shiyigou area

砾岩中的硅质岩砾石应与其西南侧的北祁连造山带广泛发育的早古生代硅质岩有关,指示晚三叠世西南缘北祁连造山带向该区提供物源。

在平凉之南约 40 km 华亭策底坡砾岩中砾石成分较为复杂,主要由变质基性火山岩(50%)、硅质岩和花岗岩(25%)、变质岩(石英岩、片岩和千枚岩)(14%)、碳酸盐岩(10%)与砂岩(1%)组成<sup>[28]</sup>(图 10b、11)。古老造山带的砾石成分明显增多,这与秦岭造山带太华群、秦岭群、宽坪群、陶湾群复杂变质岩系和晚期火山岩具有很好的对比性,表明秦祁造山带

应为其主要物源区。

### 3.5 碎屑岩地球化学特征

#### (1) 常量元素特征

主元素分析表明,延长组 SiO<sub>2</sub> 含量变化比较大,变化在 64.23 ~ 90.95% 之间(表 2)。

#### (2) 稀土、微量元素特征

根据稀土元素分析结果(表 3,图 12),延长组砂岩稀土总量变化较大,变化在 67.00 × 10<sup>-6</sup> ~ 208.43 × 10<sup>-6</sup> 范围内,轻稀土强烈富集,La/Yb 变化范围为 13.6 ~ 283,具有清晰的 Eu 负异常,δEu 变化在 0.56 ~ 0.83 之间。

#### (3) 地球化学成分判别

沉积岩中的 REE 以及 Th、Sc、Hf 和 Co 等微量元素和部分常量元素已经被广泛用于沉积岩物源区构造环境和盆地形成构造环境的判别<sup>[36-38]</sup>。上三叠统延长组砂岩样品常量元素的投图结果表明(图 13),南部策底坡、崆峒山、口镇、东风镇四个剖面的样品全部落入压陷环境。中、北部石沟驿、汝箕沟、水磨沟三个剖面的样品分布比较杂乱,既有伸展环境也有压陷环境,这从一个侧面反映晚三叠世盆地形成的构造环境较复杂。

## 4 西缘构造—沉积环境探讨

### 4.1 动力学背景分析

盆地西缘侏罗系与三叠系及其下伏地层构造变形协调一致,白垩系与其下伏地层之间表现为角度不整合接触关系。从位于盆地西缘银川地堑东侧陶乐附近 01675 地震地质解释剖面上可以看出(图 1、14),白垩系、第三系与下伏地层均呈角度不整合接触,侏罗系、三叠系、石炭系和奥陶系协调一致。说明

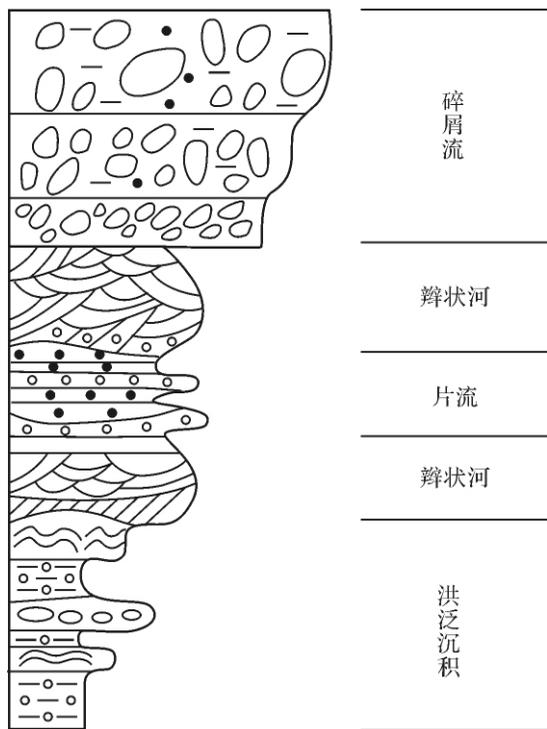


图 9 平凉崆峒山冲积扇沉积序列  
Fig. 9 Sedimentary sequence of alluvial fan in Kongdongshan section, Pingliang



图 10 华亭地区延长组野外照片  
a. 崆峒山后山沟口砾岩; b. 策底坡砾岩

Fig. 10 Field photographs of Yanchang Formation in Huating area

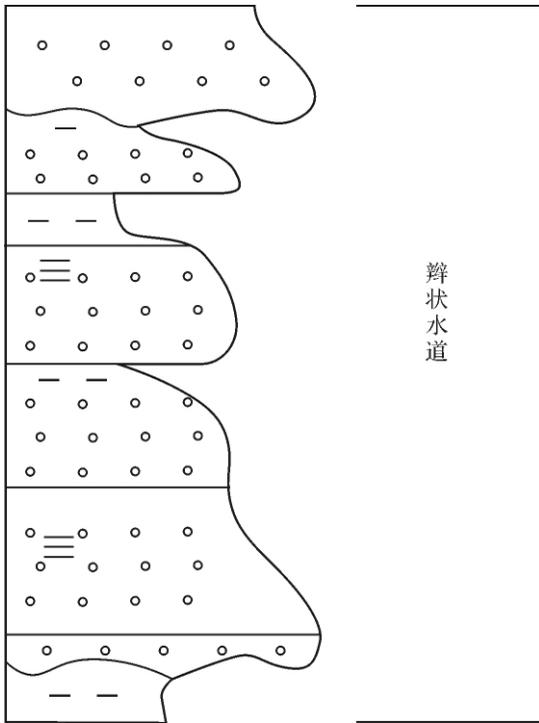


图 11 华亭策底坡剖面扇中沉积序列

Fig. 11 Sedimentary sequence of alluvial mid-fan in Cedipo section, Huating

盆地西缘三叠纪末期并没有大规模的褶皱造山,以整体抬升为主,大规模造山应该在侏罗纪末期。因此,晚三叠世盆地西缘整体上不具备前陆盆地发育的动力学背景。

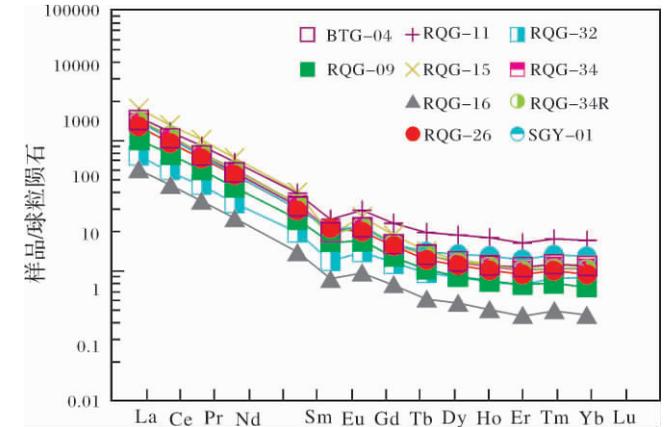
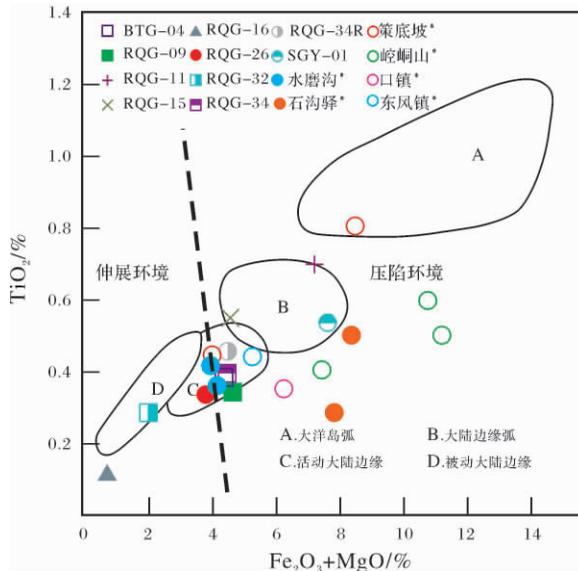


图 12 鄂尔多斯盆地西缘上三叠统延长组砂岩 REE 配分模式图(底图据 Boynton, 1984<sup>[30]</sup>)

Fig. 12 The REE distribution patterns of the Triassic sandstone in the west margin of Ordos basin (after Boynton, 1984<sup>[30]</sup>)

### 4.2 构造—沉积环境分析

#### (1) 西缘北部贺兰山地区

贺兰山地区上三叠统延长组由砾岩、砂砾岩逐渐向上过渡为细—中—粗粒砂岩、粉砂岩、黑色页岩,累计厚度达 3 000 m 左右。总体特征具粒度向上变细、水体逐渐变深的演化趋势,由扇三角洲水上部分(冲积扇)沉积环境逐渐向扇三角洲水上部分、湖泊相环境过渡<sup>[14, 34, 37]</sup>。

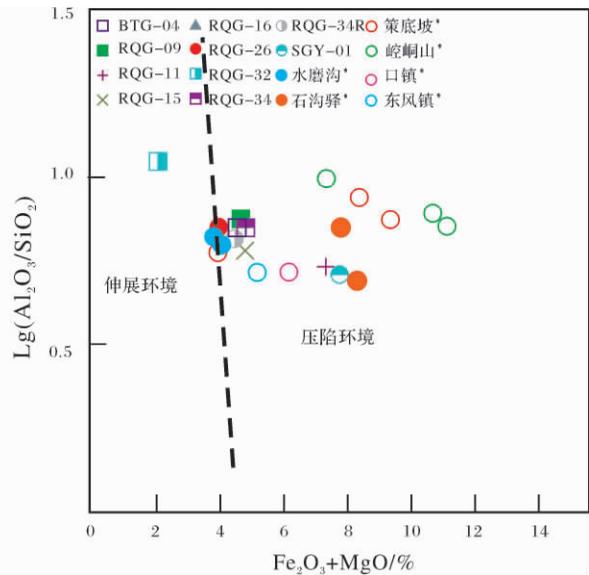


图 13 盆地西缘晚三叠世砂岩形成构造背景的 TiO<sub>2</sub>—Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + MgO (a) 和 Lg(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/SiO<sub>2</sub>)—Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + MgO (b) 判别图(底图据 Bhatia, 1983<sup>[36]</sup>; 陈刚, 1999<sup>[5]</sup>; 带“\*”号引自周立发等 2007<sup>④</sup>)

Fig. 13 TiO<sub>2</sub>—Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + MgO (a) and Lg(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/SiO<sub>2</sub>)—Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + MgO (b) Tectonic setting discrimination diagrams for the Upper Triassic sandstone in the west margin of the Ordos basin (after Bhatia, 1983<sup>[36]</sup>; Chen G, 1999<sup>[5]</sup>; “\*” data from Zhou *et al.* 2007<sup>④</sup>)

④周立发, 张义楷, 白斌, 等. 鄂尔多斯盆地西缘前陆中生代构造转换与油气成藏的关系. 长庆油田勘探开发研究院内部资料.

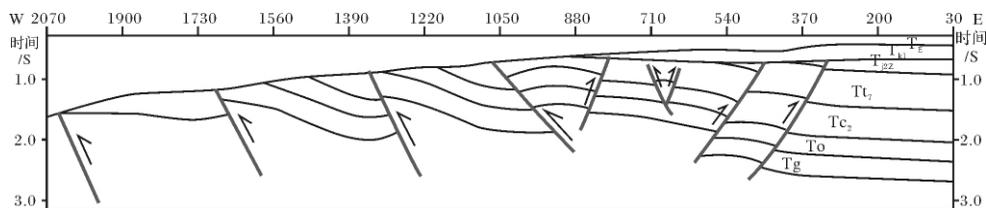


图14 盆地西缘01675地震地质解释剖面

地震反射界面: T<sub>g</sub> - 基底; T<sub>o</sub> - 奥陶系底; T<sub>c2</sub> - 上石炭统本溪组煤层顶; T<sub>l7</sub> - 上三叠统延长组长7底;  
T<sub>j2z</sub> - 中侏罗统直罗底; T<sub>k1</sub> - 下白垩统底; T<sub>e</sub> - 第三系底;

Fig. 14 Seismic sections (01675) in the west margin of Ordos basin

汝箕沟、水磨沟剖面延长组砂岩碎屑重矿物和砾岩组成表明,晚三叠世时期物源区由阿拉善地块和巴彦浩特地区二者组成。晚三叠世物源方向由西向东搬运,与苏春乾等<sup>[14]</sup>测量的古流向由西向东、北西向南东具有很好的对应性,同样说明物源主要来自西北部阿拉善地区和巴彦浩特地区。

常量元素判别图上,延长组样品分布比较杂乱,部分样品落入伸展环境,还有一部分样品落入压陷环境。

在汝箕沟大岭—鼓鼓台发育一套玄武岩,为典型的大陆裂谷拉班玄武岩,形成于板内伸展环境。玄武岩来源于地幔,是地壳伸展的标志性产物。锆石 U-Pb 年龄(241 ± 7) Ma 则客观记录了玄武岩的喷出时间<sup>[38]</sup>,与霍福臣 1989 年的 K-Ar 数据 229 Ma<sup>[39]</sup>和刘池洋等的古生代地层锆石裂变径迹 221 Ma<sup>[11]</sup>在误差范围以内具有很好的一致性。

水体逐渐加深,古流向由西向东;物源区整体抬升剥蚀强烈,沉积厚度巨大;砂岩样品落入伸展环境和压陷环境;晚三叠世末期发育板内拉斑玄武岩,共同说明贺兰山地区晚三叠世时期处于区域挤压背景下的局部伸展环境,为裂谷盆地发育阶段。

## (2) 西缘中部石沟驿地区

关于石沟驿地区三叠系的争议由来已久,特别是纸坊组和延长组的划分具有不同看法,从而导致延长组的真实厚度颇具争议(张文昭等,1955<sup>⑤</sup>;宁夏地矿局区调队,1984<sup>⑥</sup>;宁夏地质调查院,2000<sup>⑦</sup>;长庆油田分公司勘探开发研究院,2002<sup>⑧</sup>)。忠1井钻探结果揭示,延长组厚度为 2 386.4 m,考虑到忠1井位

于石沟驿向斜的西翼,仅钻遇延长组的中下部,因此,残留的延长组真实厚度为 3 000 m 左右是比较可靠的。忠1井延长组砂岩矿物中钾长石含量较高,重矿物以石榴子石、绿帘石和锆石为主(图2),表明其仅相当于长8、长9和长10油层组沉积,可见石沟驿地区延长组原始沉积厚度远远大于 3 000 m,晚三叠世时期石沟驿地区无疑为一沉降中心。并且延长组残余厚度变化非常大,向南、向东迅速减薄为 1 000 m 左右(图15)。忠1井延长组以火成岩屑和变质岩屑为主,沉积岩屑次之,特别是见到了寒武系毛庄组、徐庄组碳酸盐岩岩屑,说明物源区当时抬升非常强烈(图2)。上述事实表明,晚三叠世时期石沟驿地区处于断陷环境,至于断陷作用是正断层相关还是与走滑断层相关有待于进一步的研究。

延长组岩性以灰绿色中、粗砂岩、含砾粗砂岩为主,发育大型槽状、板状交错层理,沉积环境为典型的辫状河三角洲沉积环境,主要发育辫状河道和泛滥平原沉积微相(图7、8a)。重矿物组成表明物源主要来自阿拉善的变质岩、岩浆岩和沉积岩。延长组古水流总体方向自北西向南东方向(图4)。在常量元素判别图上,忠1井样品分布比较杂乱,具有伸展构造环境,也有压陷环境。

总体上,石沟驿地区三叠系延长组沉积厚度大,约 3 000 m,为盆地西缘的沉降中心,向东、向南迅速减薄至 1 500 m 左右;物源区距离较近,整体抬升强烈,高差大;构造环境较为复杂,共同表明,石沟驿地区晚三叠世时为整体挤压背景下的断陷。

⑤张文昭,郭玮,王顺荣,等.鄂尔多斯地台西部石沟驿区三叠纪延长统及早侏罗世延要统综合研究报告,长庆油田公司档新会,957

⑥宁夏回族自治区地质矿产局.吴忠市幅(1:20万)区域地质调查报告,1984.宁夏地质调查院资料室

⑦宁夏回族自治区地质调查院.吴忠市幅(1:25万)区域地质调查报告,2001.宁夏地质调查院资料室

⑧长庆油田分公司勘探开发研究院.鄂尔多斯西缘前陆盆地油气藏形成条件研究,2003.长庆油田公司勘探开发研究院资料室



- 8 贾承造,魏国齐,李本亮,等. 中国中西部两期前陆盆地的形成及其控气作用[J]. 石油学报, 2003, 24(2): 13-17 [Jia Chengzao, Wei Guoqi, Li Benliang, *et al.* Tectonic evolution of two-epoch foreland basins and its control for natural accumulation in China's mid-western areas [J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2003, 24(2): 13-17]
- 9 刘池洋,赵红格,杨兴科,等. 前陆盆地及其确定和研究[J]. 石油与天然气地质, 2002, 23(4): 307-313 [Liu Chiyang, Zhao Hongge, Yang Xingke, *et al.* Foreland basin and its definition and research [J]. *Oil & Gas Geology*, 2002, 23(4): 307-313]
- 10 刘池洋,赵红格,王锋,等. 鄂尔多斯盆地西缘(部)中生代构造属性[J]. 地质学报, 2005, 79(6): 737-747 [Liu Chiyang, Zhao Hongge, Wang Feng, *et al.* Attributes of the Mesozoic structure on the west margin of Ordos basin [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2005, 79(6): 737-747]
- 11 刘池洋,赵红格,桂小军,等. 鄂尔多斯盆地演化—改造的时空坐标及其成藏(矿)响应[J]. 地质学报, 2006, 80(5): 617-638 [Liu Chiyang, Zhao Hongge, Gui Xiaojun, *et al.* Space-time coordinates of the evolution and reformation and mineralization response in Ordos Basin [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2006, 80(5): 617-637]
- 12 赵红格,刘池洋,王建强,等. 鄂尔多斯盆地西部晚三叠世构造属性探讨[J]. 中国地质, 2007, 34(3): 384-391 [Zhao Hongge, Liu Chiyang, Wang Jianqiang, *et al.* Tectonic attribute of the western Ordos basin during the Late Triassic [J]. *Geology in China*, 2007, 34(3): 384-391]
- 13 何自新. 鄂尔多斯盆地演化与油气[M]. 北京: 石油工业出版社, 2003: 1-382 [He Zixin. *Evolution and Petroleum of Ordos Basin* [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2003: 10]
- 14 苏春乾,杨兴科,刘继庆,等. 从贺兰山区的三叠—侏罗系论国内前陆盆地的研究[J]. 岩石矿物学杂志, 2004, 23(4): 318-326 [Su Chunqian, Yang Xingke, Liu Jiqing, *et al.* A study of foreland basins based on Triassic-Jurassic strata of the Helan Mountain [J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 2004, 23(4): 318-326]
- 15 王锋,刘池洋,赵红格,等. 贺兰山盆地与鄂尔多斯盆地的关系[J]. 石油学报, 2006, 27(4): 15-22 [Wang Feng, Liu Chiyang, Zhao Hongge, *et al.* Relationship between Helanshan Basin and Ordos Basin [J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2006, 27(4): 15-22]
- 16 Follo M F. Conglomerates as clues to the sedimentary and tectonic evolution of a suspect terrane: Wallowa Mountains, Oregon [J]. *Geological Society of America Bulletin*, 1992, 104: 1561-1576
- 17 Gutjahr M, Bradshaw J D, Weaver S, *et al.* Provenance of Cambrian conglomerates from New Zealand: implications for the tectonomagmatic evolution of the SE Gondwana margin [J]. *Journal of the Geological Society*, London, 2006, 163: 997-1010
- 18 Yang Z, Wang Z Q, Wang T, *et al.* Provenance analysis and tectonic setting of the clastic deposits of the Xicheng Basin in the Qinling orogen, central China [J]. *Journal of Sedimentary Research*, 2006, 76: 557-574
- 19 Dickinson W R, Valloni R. Plate setting and provenance of sands in modern ocean basins [J]. *Geology*, 1980, 8: 82-86
- 20 Dickinson W R. Interpreting provenance from detrital modes of sandstones [C] // Zuffa G G, edited. *Provenance of Arenites*. Dordrecht, D: Reidel, 1985: 333-362
- 21 Marsaglia K M, Ingersoll R V. Compositional trends in accreted, deep-marine sand sandstone: A reassessment of magmatic-arc provenance [J]. *Geological Society of America Bulletin*, 1992, 104: 1637-1649
- 22 McLennan S M, Yaylor S R, McCulloch M T, *et al.* Geochemical and Nd-Sr isotopic composition of deep-sea turbidites: crustal evolution and plate tectonic associations [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1990, 54: 2015-2050
- 23 Bauluz B, Mayayo M J, Fernandez Nieto C, *et al.* Geochemistry of Precambrian and Paleozoic siliciclastic rocks from the Iberian Range (NE Spain): Implications for source-area weathering, sorting, provenance, and tectonic setting [J]. *Chemical Geology*, 2000, 168: 135-150
- 24 闫臻,王宗起,王涛,等. 秦岭造山带泥盆系形成构造环境: 来自碎屑岩组成和地球化学方面的约束[J]. 岩石学报, 2007, 23(5): 1023-1042 [Yan Zheng, Wang zongqi, Wang Tao, *et al.* Tectonic setting of Devonian sediments in the Qinling orogen: Constraints from detrital modes and geochemistry of clastic rocks [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2007, 23(5): 1023-1042]
- 25 Li Z M, Liu J J, Hu R Z, *et al.* Tectonic setting and nature of the provenance of sedimentary rocks in Lanping Mesozoic-Cenozoic Basin: evidence from geochemistry of sandstones [J]. *Chinese Journal of Geochemistry*, 2003, 22(4): 352-362
- 26 邵磊,刘志伟,朱伟林. 陆源碎屑岩地球化学在盆地分析中的应用[J]. 地学前缘, 2000, 7(9): 297-304 [Shao Lei, Liu Zhiwei, Zhu Weilin. Application of sedimentary geochemistry of terrigenous clastic rock to basin analysis [J]. *Earth Science Frontiers*, 2000, 7(9): 297-304]
- 27 McLennan S M, Hemming S, McDaniel M J, *et al.* Geochemical approaches to sedimentation, provenance and tectonics [C] // Jonhanson M J, ed. *Processes Controlling the Composition of Clastic Sediments*. Boulder, Colorado: Geological Society of America Special Paper, 1993: 21-40
- 28 罗静兰,史成恩,李博,等. 鄂尔多斯盆地周缘及西峰地区延长组长8、长6沉积物源—来自岩石地球化学的证据[J]. 中国科学(D辑): 地球科学, 2007, 第37卷(增刊): 62-72 [Luo Jinglan, Shi Chengen, Li Bo, *et al.* Sediment source of Chang 6 and Chang 8 Section of Yanchang Formation in Ordos Basin and Xifeng region: evidence of petrology and geochemistry [J]. *Science in China (D): Earth Science*, 2007, 37(Suppl.): 62-72]
- 29 Dürr S B. Quick estimation of pebble volumes [J]. *Journal of Sedimentary Research*, 1994, 64: 677-679
- 30 Boynton W V. Geochemistry of rare earth elements: meteorite studies [C]. // Henderson P, ed. *Rare Earth Element Geochemistry* [M]. Elsevier Science Publishers, 1984: 63-114
- 31 Morton A C, Hallsworth C R. Processes of controlling composition of heavy mineral assemblage in sandstones [J]. *Sedimentary Geology*, 1999, 124: 3-29
- 32 Eynatten H, Gaupp R. Provenance of Cretaceous synorogenic sandstones in the Eastern Alps: constraints from framework petrography,

- heavy mineral analysis and mineral chemistry [J]. *Sediment Geology*, 1999, 124: 81-111
- 33 周建文, 宋丽红, 孙峥嵘, 等. 博湖坳陷侏罗系重矿物特征及物源探讨 [J]. *河南石油*, 2002, 16(1): 20-22 [Zhou Jianwen, Song Lihong, Sun Zhengrong, *et al.* Heavy mineral features and source of sediments of Jurassic in Bohu depression [J]. *Henan Petroleum*, 2002, 16(1): 20-22]
- 34 柯保嘉, 陈昌明, 陈志明, 等. 试论贺兰山地区延长群与鄂尔多斯盆地的关系 [J]. *地质科学*, 1992, 2: 124-130 [Ke Baojia, Chen Changming, Cheng Zhiming, *et al.* A discussion on the relationship between upper Triassic sediments in Helanshan and Ordos regions [J]. *Scientia Geologica Sinica*, 1992, 2: 124-130]
- 35 宁夏地质矿产局. 宁夏回族自治区区域地质志 [M]. 北京: 地质出版社, 1990: 145-158, 331 [Bureau of Geology and Mineral Resources of Ningxia Hui Autonomous Region. *Regional Geology of Ningxia Hui Autonomous Region* [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1990: 145-158, 331]
- 36 Bhatia M R. Plate tectonics and geochemical composition of sandstone [J]. *Journal of Geology*, 1983, 91: 611-627
- 37 魏红红, 李文厚, 邵磊, 等. 汝箕沟盆地上三叠统延长组沉积环境 [J]. *西北大学学报: 自然科学版*, 2001, 31(2): 171-174 [Wei Honghong, Li Wenhou, Shao Lei, *et al.* Sedimentary environment of Yanchang Formation of the Upper Triassic in Ruqigou basin [J]. *Journal of Northwest University: Natural Science Edition*, 2001, 31(2): 171-174]
- 38 杨华, 付金华, 欧阳征健, 等. 鄂尔多斯盆地西缘汝箕沟大岭—鼓鼓台玄武岩锆石 U-Pb 定年及其构造意义 [J]. *地球学报*, 2010, 31(2): 221-228 [Yang Hua, Fu Jinhua, Ouyang Zhengjian, *et al.* U-Pb Zircon dating of the Daling-Gugutai basalt in Rujigou on the western margin of Ordos Basin [J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 2010, 31(2): 221-228]
- 39 霍福臣, 潘行适, 尤国林, 等. 宁夏地质概论 [M]. 北京: 科学出版社, 1989: 1-302 [Huo Fucheng, Pang Xingshi, You Guoling, *et al.* *Geological Research of Ningxia Hui Autonomous Region* [M]. Beijing: Sciences Press, 1989: 1-302]

## Analysis of Tectonic–Sedimentary Setting in Middle and Upper Triassic in the West Margin of the Ordos Basin

YANG Hua<sup>1 2</sup> FU Jin-hua<sup>1 2 3</sup> OUYANG Zheng-jian<sup>1 3</sup> SUN Liu-yi<sup>1 3</sup>

(1. National Engineering Laboratory for Exploration and Development of Low Permeability Oil & Gas Field, Xi'an 70018;

2. PetroChina Changqing Oilfield Company, Xi'an 710018;

3. Exploration and Development Research Institute of PetroChina Changqing Oilfield Company, Xi'an 710018)

**Abstract** Many geologists have paid attention to the west margin of Ordos basin for a long time, the provenance and tectonic–sedimentary setting are still controversial. Based on the data analysis of sandstone detrital fragments, heavy mineral assemblages, geochemistry, composition of conglomerates, paleocurrent and tectonic deformation, it is indicated that the provenance and tectonic–sediment setting is different in different areas in the west margin of Ordos basin. The deposition of the Upper Triassic in Helan Mountain occurred in craton, and its source areas belonged to the Alxa massif and Bayanhaote Basin, paleocurrent was from west to east, sedimentary setting is from fan–delt to lake setting and Helan Mountain was rift basin in the Upper Triassic. The Upper Triassic sedimentation is tremendous, about 3 000 m in Shigouyi area. There are mainly feldspathic sandstone of this sedimentation, the provenance belonged to the Alxa massif, and paleocurrent was from northwest to southeast and Shigouyi area, and sedimentary setting was braided–river setting. Shigouyi was downfaulted basin in Upper Triassic. The provenance belonged to Qinling–Qilianshan orogenic zone and stratum in Cedipo–Huating area, paleocurrent was from southwest to northeast, sedimentary setting was alluvial fan. Cedipo–Huating area was foreland basin in Upper Triassic. Based on the comprehensive analysis, it is suggested that the provenance and tectonic–sedimentation was different in different areas in the west margin of Ordos basin, and being not uniform foreland basin simply.

**Key words** Upper Triassic; detrital fragments; heavy mineral assemblage; geochemistry; provenance; tectonic–sedimentary setting