

文章编号: 1009-3850(2009)04-0005-05

鄂尔多斯盆地二叠纪气候特征及其对东北部砂体的影响

向 芳¹, 陈洪德^{1,2}, 田景春^{1,2}, 陈安清¹

(1. 成都理工大学 沉积地质研究院, 四川 成都 610059; 2. 成都理工大学 “油气藏地质及开发工程” 国家重点实验室, 四川 成都 610059)

摘要: 通过对鄂尔多斯盆地东北部二叠纪陆相沉积特征和地球化学特征的研究, 结合前人的古植物群落研究成果, 认为研究区二叠纪存在从山西期湿热气候向石千峰期干热气候转变的过程。造成气候变化的原因与鄂尔多斯盆地当时所处的古纬度、区域构造运动和区域上大规模火山活动有关。气候变化过程控制和影响了该期的沉积特征, 造成了山西组 石千峰组在岩石颜色、岩性组合、砂岩的结构和成分成熟度以及砂体展布特征方面的差异。

关键词: 鄂尔多斯盆地; 二叠纪; 气候特征; 砂体
中图分类号: P532 文献标识码: A

气候的变化常常影响风化作用的强弱, 气候还直接影响降水量、河流径流量和海平面 (湖平面) 的升降, 从而影响沉积物的沉积量和分布。因此, 气候对沉积相的类型、横向展布和纵向变迁起控制作用, 也对砂体厚度、分布位置和储集性能造成影响。本文在对鄂尔多斯盆地东北部二叠系大量岩芯观察和野外剖面实测等工作基础上, 结合前人的研究成果, 对鄂尔多斯盆地二叠纪气候特征及产生原因进行分析, 同时讨论气候对以陆相沉积为主的山西组 石千峰组的沉积特征、砂体展布特征等方面的影响作用。

1 鄂尔多斯盆地二叠纪气候演化特征

气候的变化可以通过岩石学特征、古生物特征及地球化学特征等方面的研究来获得相关证据。

1.1 岩石学证据

鄂尔多斯盆地东北部主要包括乌审旗、靖边以东, 延安、延长以北的地区 (图 1)。二叠纪陆相沉积从早期到晚期具有明显的颜色变化特征: 山西组主要为灰白色 浅灰色砂岩和灰黑色 深灰色泥岩及煤

层或煤线; 下石盒子组为灰绿色 灰白色 灰黄色砂岩夹紫棕色 棕褐色及灰绿色泥岩和少量碳质泥岩, 偶见煤线; 上石盒子组主要以棕红色 棕褐色 紫灰色及灰黑色泥岩为主, 间夹少量灰白色或灰绿色砂岩, 偶见泥质岩夹石膏层, 化石稀少; 石千峰组以较鲜艳的泥质岩为标志, 主要为棕红色 紫红色和紫灰色泥岩夹紫红色 紫灰色砂岩, 常含有泥灰岩薄层和铁质钙质结核。颜色上的这种由灰黑到灰绿, 再到棕色, 最后出现红色色调的变化过程, 反映了氧化程度逐渐升高、暴露程度逐渐加大的沉积环境。同时在岩性特征上, 煤层沉积的消失到石膏及铁质、钙质结核的出现, 也反映了气候从暖湿向干热方向的转化 (图 1)。

1.2 古生物证据

前人的研究表明^[1], 华北地区山西期一下石盒子早中期, 中南部出现三角织羊齿 中国瓣轮叶 翅编羊齿组合带, 为暖湿环境; 下石盒子晚期—上石盒子早中期, 华北中南部为波缘单网羊齿 剑瓣轮叶—束羊齿组合带, 为热带气候区中的干湿交替气候环

收稿日期: 2009-05-20 改回日期: 2009-11-02

作者简介: 向芳 (1974—), 女, 博士, 副教授, 主要从事沉积学方面的研究。E-mail: xiangf@cdut.edu.cn

资助项目: 国家重点基础研究发展计划 973 项目专题 (2006CB701401-03); 国家自然科学基金项目 (40602011)

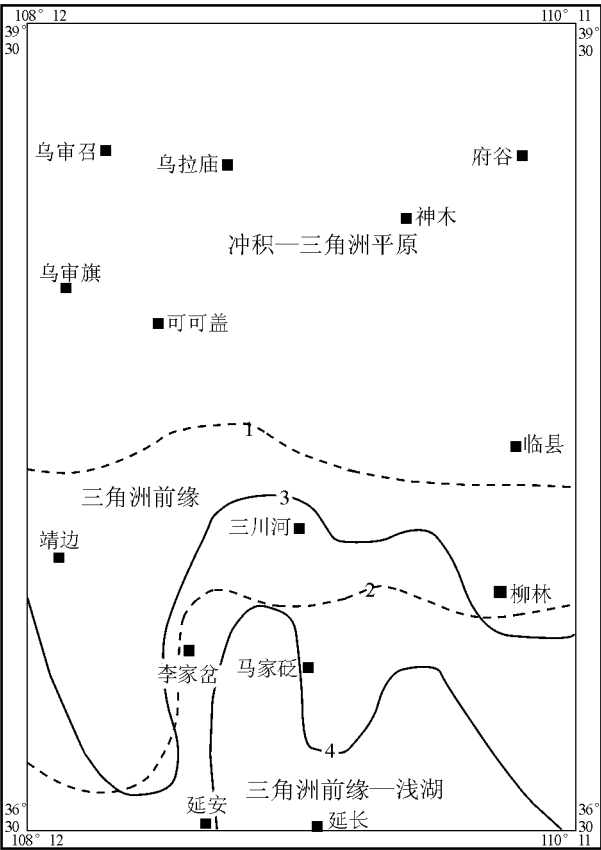


图 1 研究区位置及岩相古地理分区

1 山西期晚期冲积 三角洲平原南界; 2 山西期晚期三角洲前缘南界; 3 石千峰期早晚期冲积 三角洲平原南界; 4 石千峰期晚期三角洲前缘南界

Fig 1 Sedimentary facies and palaeogeography of the Ordos Basin

1 = southern boundary of the late Shanxian alluvial delta Plain; 2 = southern boundary of the late Shanxian delta front; 3 = southern boundary of the early-late Shiqianfeng alluvial delta plain; 4 = southern boundary of the late Shiqianfeng delta front

境;上石盒子晚期,主要的植物组合类型为多裂掌叶 平安瓣轮叶 细纹楔拜拉组合,反映了干旱季节加重的热带气候条件。

1.3 地球化学证据

通过对研究区石千峰组上段泥岩微量元素的分析,发现硼含量为 $117 \sim 184 \times 10^{-6}$ 。对于硼元素而言,其含量的高低常常与盐度有关。在陆相盆地中高的硼含量对应着强的蒸发环境及干热气候。现代盐湖^[2-4] 察尔汗盐湖的硼含量平均为 184.52×10^{-6} 、新疆巴里坤盐湖卤水中硼的含量为 $49.84 \sim 81.99 \times 10^{-6}$ 、腾格里沙漠中 5个盐湖卤水中硼的平均含量为 $740 \sim 270 \times 10^{-6}$ 。由此可见,石千峰组的

泥岩沉积应该形成于高盐度的环境中,反映了当时为干热的气候。此外,对石千峰组千 3段 5个样品的氧化还原电位的测试结果表明, Eh为 $0 \sim 3\text{mV}$, 也对应强氧化环境。

1.4 气候演化特点

岩石学、古生物学和地球化学方面的证据均表明,鄂尔多斯盆地二叠纪山西期—石千峰期的气候呈现出如下变化过程:山西期一下石盒子早中期为湿热气候,下石盒子晚期—上石盒子早中期仍然处于热的环境,但气候开始出现干旱与潮湿的交替,此后气候环境逐渐向干热环境转变。

2 鄂尔多斯盆地二叠纪气候变化原因

气候特征最主要的控制因素是所处的地理位置(纬度范围)及海拔高度,而区域上的气候特征也常常与特殊的构造运动和特殊事件相关联。

前人^[5]的研究表明,华北板块在二叠纪时所处的古纬度为北纬 15° 左右,该纬度对应着热带气候区,因此造成了鄂尔多斯盆地在整个二叠纪均为高温环境。同时,在全球古板块的运动过程中,二叠纪晚期逐渐形成了联合古大陆,华北板块位于联合古大陆的东侧^[6-7]。在这种情况下,行星风系造成的西风环流从西往东流动,水气的运移方向也表现为由西往东传输。由于联合古陆东西向跨度巨大,处于古陆东侧的华北板块很难获得从西部带来的水气,因此随着联合古大陆的形成,华北板块相应变得干旱。

干旱气候的另一个原因可能与区域构造运动有关。随着华北板块北部的兴蒙海槽的向南逆冲,西伯利亚板块与华北板块拼合以及南缘秦岭海槽向北发生陆内俯冲,二叠纪晚期华北板块全面抬升,海水完全退出。随着海水的全面退出,受水气影响的距离变远,也会造成包括鄂尔多斯盆地在内的华北板块大陆性气候增强。

二叠纪晚期还有一个比较重要的事件就是火山活动。华北板块以南,发育在扬子陆块西缘的峨眉山玄武岩被认为是由特提斯洋壳俯冲诱发陆块内大规模玄武岩浆的喷发^[8]。而在华北板块以北,二叠纪末在西伯利亚及其周边出现了规模巨大的暗色岩岩浆活动区,分布面积超过 $150 \times 10^4 \text{ km}^2$, 体积为 $200 \times 10^4 \text{ km}^3$, 比整个欧洲都还大^[9]。如此大规模化的火山活动,将会对邻近地区的气候造成严重的影响,引起区域性干热气候的出现。

3 气候对盆地东北部沉积砂体的控制作用

由于鄂尔多斯盆地二叠纪的气候从山西期到石千峰期由热湿变为高温和干旱, 针对气候变化的两个端元, 本文主要讨论气候对盆地东北部山西组和石千峰组沉积特征和砂体的影响作用。

山西组主要的岩石类型为砂岩和泥质岩。其中砂岩中石英含量高, 长石含量相对较低, 岩石类型以岩屑石英砂岩、石英砂岩为主(表 1), 岩石的成分及结构成熟度较高。通过对山西组沉积体系的研究, 发现该时期(特别是早中期), 河道常常发生快速频繁的废弃和复合, 砂体间的相互冲刷、切割和垂向叠置加积现象十分普遍, 从而导致砂体规模大, 单个砂层可厚达十几米。另一重要的沉积现象是洪泛平原或平原沼泽十分发育, 在潮湿气候条件下普遍沼泽化(图 2)。主要形成一套泥质沉积或泥质与砂质互层沉积。其间的次级水系(分流河道)在洪泛期常常决口, 在洪泛平原或平原沼泽中形成透镜状的决口扇和决口河道(图 2)。两种沉积亚相特殊的分布形式导致该区砂体分布的集中性较强, 即: 在砂岩发育区, 砂体规模大、单层厚度大, 砂地比比值较高(表 2); 而在泥质岩发育区, 砂体规模小、单层厚度较薄^[10]。此外河间洼地普遍发育沼泽, 形成一套陆源碎屑沉积的含煤层系, 构成了盆地重要的气源岩之一(图 2)。

表 1 山西组砂岩类型百分比统计表
Table 1 Statistics of the sandstone types in the Shanxi Formation

地理位置	井 / 剖面数	样品数	砂岩类型百分比 /%			
			石英砂岩	岩屑石英砂岩	长石岩屑砂岩	岩屑砂岩
东部北端	4	14	14.3	71.4	7.1	7.1
东部南端	3	9	0.0	66.7	0.0	33.3
中部北端	6	21	23.8	42.9	4.8	28.6
中部南端	9	18	77.8	11.1	0.0	11.1

表 2 榆林地区 S₂ 层位砂体特征 (共 36 口钻井)
Table 2 Characteristics of the S₂ sandstones in the Yulin region

砂体特征	厚度 /m	>11	8~11	5~8	2~5	<2
	数量 / 百分比 /%	14/38.9	9/25.0	3/8.3	3/8.3	7/19.5
	平均厚 /m	10.4				
	砂地比	0~0.3	>0.3	>0.5	平均	
	数量 / 百分比 /%	4/25.0	7/19.4	20/55.6	0.48	

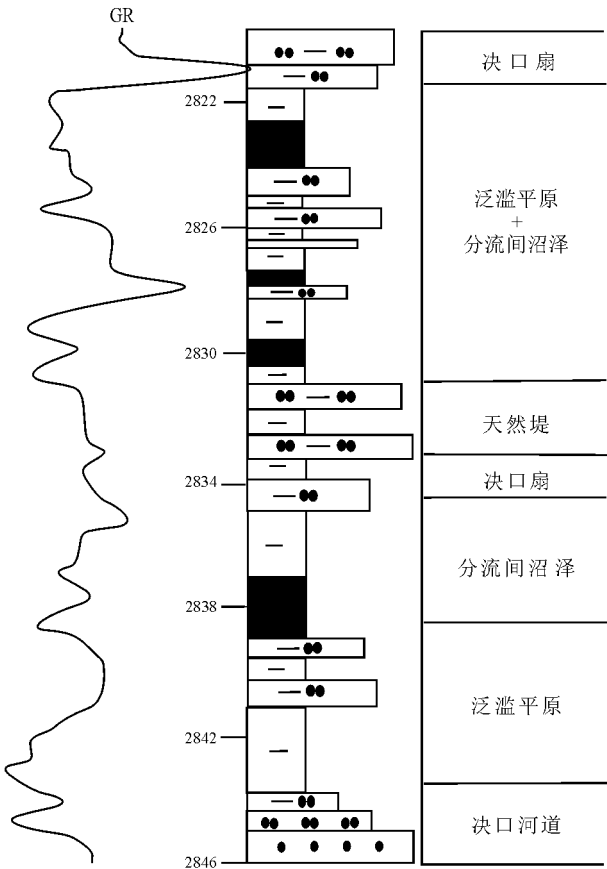


图 2 山西组洪泛平原剖面特征(大 19 井, S₁ 段)
Fig 2 Vertical sequence of the flood plain deposits in the Shanxi Formation

石千峰期, 研究区中主要以泥质岩沉积为主, 夹有少量砂岩。砂岩的组分特点表现为石英含量普遍偏低、长石含量很高。同时岩屑中可见泥岩、粉砂岩和碳酸盐岩岩屑。主要岩石类型有长石砂岩和岩屑长石砂岩、长石岩屑砂岩。填隙物含量一般低于 15%, 通常为 8% ~ 10%。砂岩颗粒磨圆度差, 多呈次棱角状, 颗粒分选差较差, 反映出砂岩具有较低的成分成熟度和结构成熟度。砂体大都呈席状或带状近平行分布, 在三角洲及主河道间常有变动不定的洼地存在, 反映了河道分布的不稳定。相比较而言, 砂体厚度不大, 在各层段的中期旋回中, 最大砂体厚度为 9.8m, 最小砂体厚度为 5.0m(表 3)。

陆相沉积主要受控于构造和气候两个条件^[11]。从上述沉积特征可以看出, 虽然山西期和石千峰期都是处于较强构造活动幕中, 具有类似的构造背景^[10], 但是沉积特征却具有明显的不同, 这种不同应该主要由气候的不同造成。山西期潮湿高温的环境有利于风化作用的进行, 所形成的风化产物稳定成分含量高。同时潮湿的气候可以提供丰富的水

源,水动力条件好,可以搬运的粗碎屑物质相对多,还可以进行长距离的搬运,因此可以形成成分成熟度和结构成熟度高、厚度较大的砂岩沉积。由于气候潮湿,河流可以常年流水,河道相对固定,造成砂体的分布集中性较强,同时也由于潮湿造成洪泛沼泽的广泛发育。石千峰期以干旱气候为主,而气候

表 3 石千峰组中不同层位不同厚度砂体的钻遇次数及厚度平均值
Table 3 Average thickness and drilled frequency of the sandstones in the Shiqianfeng Formation

段	中周期	<1m	<5m	<10m	<15m	<20m	<23m	合计/次	平均值/m	
千 ₁	3	26	52	80	29	2		189	6.2	6.3
	2	17	65	81	28	1	2	194	6.3	
	1	13	57	103	23	3		199	6.5	
千 ₂	2	32	58	70	36	13	2	211	6.8	7.1
	1	17	49	85	50	8	2	211	7.4	
千 ₃	3	49	76	65	23	1	1	215	5.0	5.9
	2	43	57	90	21	4		215	5.6	
	1	15	58	98	38	7	1	217	7.0	
千 ₄	3	9	70	85	28	5	1	216	6.0	7.2
	2	8	67	97	33	13	4	223	7.3	
	1	16	39	103	63	8	2	223	8.3	
千 ₅	3	15	71	93	37	8	1	226	6.7	8.3
	2	0	47	89	64	13	5	233	8.3	
	1		35	93	72	24	9	233	9.8	

表 4 气候与沉积及砂体特征间的关系
Table 4 Relationship between the climatic changes and sandstone development

组	颜色	岩石类型	砂岩类型	成熟度	特殊岩性	砂体发育程度	温度	湿度	
								湿	干
石千峰组	棕红色 /紫红色	泥岩为主, 夹砂岩	长石砂岩、 岩屑砂岩	差	泥灰岩、铁 质钙质结核	较好			
上石盒子组	棕红色 /棕褐色	泥岩为主, 间夹砂岩	长石(石英)砂岩、 长石岩屑 砂岩	较差	偶见石膏层	差			
下石盒子组	灰绿色 /灰白色 /灰黄色	砂岩为主, 加少量泥 岩	岩屑砂岩、 石英砂岩	较好	少量碳质 泥岩,偶 见煤线	好			
山西组	灰白色 /灰黑色	砂岩和泥岩	石英砂岩、 岩屑砂岩	较好-好	煤层、煤线	好			

的干旱比高温更不利于风化作用的发生^[12],因此石千峰组的砂岩成分成熟度较低,长石和不稳定岩屑常见,杂基含量较多。由于降水稀少,河道可能会出现季节性流水,造成相应的河道沉积分布不稳定。同时,水流少也造成沉积物搬运距离有限,沉积量少,所以砂体厚度小,相应的砂岩结构成熟度较低,同时出现细粒物质为主的沉积特征。而两者之间的下石盒子组和上石盒子组中则主要出现岩屑砂岩、石英岩屑砂岩、石英砂岩组合,特征正好介于两者之间(表4)。由此可见,与砂体的厚度、连续性、集中性相关的储层在山西组中更为发育。

山西期—石千峰期,鄂尔多斯东北部的沉积相展布具有相似的特征,从北向南均出现冲积三角洲平原、三角洲前缘、前三角洲浅湖三个相区。但是,与山西期的古地理特征相比,冲积三角洲平原相带的分布在石千峰期更向南扩展,这种相带分布特征可能与气候干燥炎热造成水份蒸发量增大,从而造成石盒子期分布在南部的湖泊水量减少和湖泊的北部向南收缩有关。

4 结 论

鄂尔多斯盆地二叠纪山西期—石千峰期气候呈现出从湿热到干热的变化特征。这种气候特点造成处于相似构造背景中的山西期和石千峰期呈现出不同的沉积特征,不仅在颜色、岩石组合类型、砂岩的结构和成分成熟度方面存在有差异(表4),而且造成山西期砂体分布相对集中、砂体规模大、单层厚度

大的特点,从而为形成更为有利的天然气储集层创造了更好的条件。

参考文献:

[1] 郭绪杰,焦贵浩.华北古生界石油地质[M].北京:地质出版社,2002

[2] 刘振敏,邓小林.新疆巴里坤盐湖卤水中硼、锂、溴、碘的赋存特征[J].化工矿产地质,1995,17(2):87—92

[3] 刘振敏.腾格里沙漠区盐湖物质成分研究[J].盐湖研究,2000,8(3):21—26

[4] 胡东升.青海察尔汗盐湖微量元素地球化学[J].西北地质,1989(4):37—43

[5] 吴汉宁,常承法,刘椿,等.依据古地磁资料探讨华北和华南块体运动及其对秦岭造山带构造演化的影响[J].地质科学,1990(3):201—214

[6] 刘本培.地球科学导论[M].北京:高等教育出版社,1986

[7] 傅英祺.古生物地史学简明教程[M].北京:地质出版社,1994

[8] 韩吟文,陈北岳,柳建华,等.扬子陆块西缘晚古生代玄武岩浆的性质和演化——玄武岩、辉绿玢岩稀土元素、微量元素地球化学研究[J].地球科学——中国地质大学学报,1999,24(3):234—239

[9] 傅恒,李雪兰,邝碧湘.天文事件与二叠纪末联合古陆解体[J].沉积与特提斯地质,2004,24(2):101—105

[10] 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

[11] 顾家裕,张兴阳.陆相层序地层学进展与在油气勘探开发中的应用[J].石油与天然气地质,2004,25(5):484—450

[12] 廖示范.关于风化作用涵义的探讨[J].贵州地质.1997,14(1):64—71.

Climatic evolution and effects on the sandstone development in northeastern Ordos Basin during the Permian

XIANG Fang¹, CHEN Hong-de², TIAN Jing-chun², CHEN An-qing¹
(1. Institute of Sedimentary Geology, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, Sichuan, China; 2. State Key Laboratory of Oil and Gas Reservoir Geology and Exploitation, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, Sichuan, China)

Abstract: There once occurred the transition in the Ordos Basin from the humid climates during the Shanxian to the arid climates Basin during the Shiqianfengian of the Permian. These variations in climates may be caused by the palaeogeographic position, tectonic movement and volcanic activity in the basin during the Permian. The humid climates during the Shanxian apparently facilitated the occurrence of the sandstones in larger scales and thickness, and thus contributed to the accumulation of the gas reservoirs during this period.

Key words: Ordos Basin; Permian; climate; sandstone