

doi: 10.6053/j.issn.1001-1412.2022.04.014

和什托洛盖盆地中下侏罗统地震层序地层研究

马小平^{1,2,3}

1. 中国地质大学构造与油气资源教育部重点实验室, 武汉 430074;
2. 吐鲁番金源矿冶有限责任公司, 新疆 昌吉 831100;
3. 新疆地矿局第一地质大队, 新疆 昌吉 831100)

摘要: 开展地震层序地层学研究对含煤盆地层序地层格架建立、沉积体系划分和整体煤层对比具有重要意义。地震层序解释以地震剖面为基础, 识别不同级别的不整合面及与之对应的界面, 并进行横向对比追踪与闭合, 建立等时地层格架。本文基于新疆西北部和什托洛盖盆地丰富的地震剖面, 结合钻井标定和测井解释, 开展对和什托洛盖盆地中下侏罗统地震层序地层特征研究, 结果表明, 和什托洛盖盆地中下侏罗统可识别出 2 个二级层序界面、6 个三级层序界面, 并划分为 1 个二级层序, 7 个三级层序; 其中, 八道湾组可划分为 3 个三级层序, 三工河组和西山窑组各划分为 2 个三级层序。SQ1 高位体系域、SQ6 湖扩体系域及 SQ7 高位体系域普遍发育煤层, 主要煤层位于 SQ7 高位体系域。

关键词: 地震勘探; 层序地层; 中下侏罗统; 和什托洛盖盆地; 新疆

中图分类号: P539.2; P631.44 **文献标识码:** A

0 引言

地震层序解释以地震剖面为基础, 确定代表与层序边界不整合或与之对应的整合面为界的, 可以对比的相对整合的地震反射单元。识别不同级别、不同性质的不整合面及其与之对应的界面, 并进行横向对比追踪与闭合, 是进行层序地层划分和建立等时地层格架的重要基础^[1-4]。冯动军等^[5]以准噶尔盆地石南地区为例, 进行了地震层序界面的识别, 指出了层序界面和最大洪泛面的地震剖面识别特征。张杰等^[6]对鄂尔多斯盆地三叠系延长组地震层序地层进行了研究, 总结了一套在地震剖面上识别追踪不整合面的方法。此外, 还有学者成功利用地震剖面解释开展了层序地层学研究^[7-10]。

和什托洛盖盆地位于准噶尔盆地的西北缘, 近年来开展了大规模的煤炭勘查工作, 获得了丰富的二维、三维地震资料。通过地震勘探, 在盆地西部构

成主测线 2 km 和联络线 4 km 的地震测网, 在盆地东部构成主测线 4 km 和联络线 8 km 的地震测网, 局部区域进行了三维地震勘探。研究发现, 以往多以钻井和测井资料为基础进行煤田层序地层分析^[11-14], 地震层序地层学多见于石油地质勘探^[15-16]中, 将地震层序地层学应用于煤田层序地层研究的较少。因此, 本文开展陆相含煤盆地地震层序地层学研究, 以期对煤田层序地层分析、煤层综合对比及勘查开发提供借鉴。

1 地质概况

位于新疆准噶尔盆地西北缘的和什托洛盖盆地为近 NE 向展布的中新生代断陷盆地^[17]。盆地的构造形态受基底起伏和基底继承性断裂的控制, 构造单元可划分为北部拗陷带、中部凸起带和南部拗陷带等“三带”(图 1)。区域分布的地层有古生界奥陶系、志留系、泥盆系、石炭系和二叠系, 中生界三叠

收稿日期: 2022-04-08; 责任编辑: 沈名星

作者简介: 马小平(1986—), 男, 高级工程师, 主要从事煤田地质及非常规能源勘查研究。通信地址: 新疆昌吉市北京南路地质村办公楼, 新疆地矿局第一地质大队; 邮政编码: 831100; E-mail: xiaopingma86@163.com

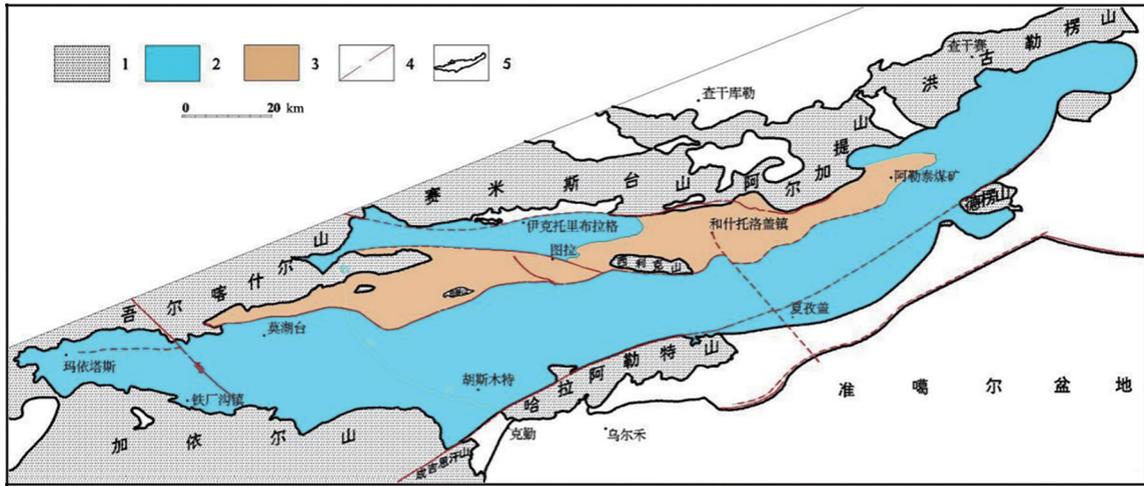


图 1 和什托洛盖盆地构造略图

Fig. 1 Structural sketch of Heshituoluogai basin

1. 盆地基底;2. 拗陷区;3. 凸起区;4. 断层;5. 和什托洛盖盆地

系、侏罗系和白垩系,新生界古近系、新近系和第四系。古生界构成了盆地的盆缘及基底,主要为泥盆系,次为石炭系。中生界是盆地中的主体沉积充填地层,白垩系和新生界是盆地中含煤岩系——侏罗系的盖层。主要含煤地层为中下侏罗统水西沟群八道湾组和西山窑组。八道湾组含煤 1—8 层,单层最厚为 9.72 m。西山窑组含煤 5—32 层,单层最厚为 22.22 m。

2 地震层序地层分析

2.1 层序界面特征识别

层序界面可以表现为多种形式,通常在地震剖面上表现为强反射层,地层终止方式具有上超、下超、顶超及削蚀特征,局部呈基准面下降期形成的下切谷^[18]。在盆地边缘区域不整合面往往显示强烈的上超或削蚀,与古构造运动对应,向盆地方向追索,层序界面表现为整合接触。在盆缘坡折带下部发育的大型三角洲前积反射层也是识别层序界面的良好标志。二级层序为构造层序,受全球性或区域性的构造因素控制,其界面常属于区域性的不整合面或与之对应的整合面,是重要的沉积间断。三级层序是层序地层单元的基本层序,三级层序界面的特征与盆地内部构造演化、湖平面变化、沉积物供给、气候特征及成煤期古地理环境等因素的变化紧密联系。根据层序界面的识别特征,通过二维地震解释及钻井标定,本文对和什托洛盖盆地中下侏罗

统层序界面特征进行了研究,共识别出 2 个二级层序界面,6 个三级层序界面(图 2)。

二级层序界面层包括 SB1 和 SB8,三级层序界面包括 SB2、SB3、SB4、SB5、SB6 和 SB7。其中 SB1 位于侏罗系底界,是印支晚期构造运动不整合面,界面之下在盆地西部为上三叠统白砾山组石英砂岩,在盆地东部为下二叠统卡拉岗组凝灰质砂岩、凝灰质砾岩和安山玢岩等,界面之上为下侏罗统八道湾组砂砾岩、砂岩、砂质泥岩、泥岩和煤层。地震剖面上,显示地层削截,界面之上显示上超、下超反射特征。SQ1 低位体系域发育盆底扇和斜坡扇沉积,在 88 线上反映特征明显(图 3)。SB8 是西山窑组和上覆地层头屯河组或白垩系或古近系之间的构造运动区域不整合面,对应燕山运动 I 幕,大规模的盆地基底抬升致使白垩系大部以及侏罗系顶部被剥蚀干净,形成全盆地剥蚀平行不整合,地震剖面上识别特

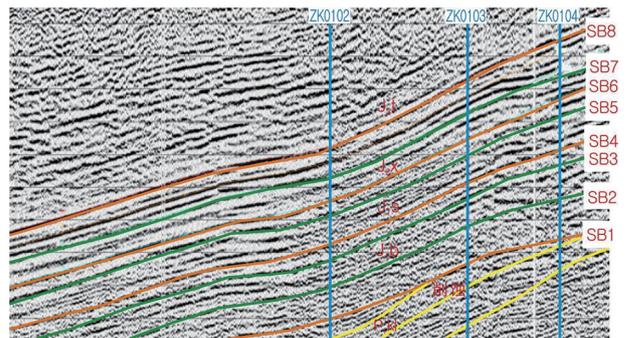


图 2 和什托洛盖盆地 01 线地震剖面层序地层划分

Fig. 2 Sequential stratigraphy division in seismic section of line 01 in Heshituoluogai basin

征明显。这两个界面可称为构造侵蚀不整合面,其间的地层为一个二级层序,持续年龄近 50 Ma。在这个二级层序中又可分为 7 个三级层序,其中的层序边界都为“不整合面或与之对应的整合面”,即在盆地边缘及非沉降中心,其边界为不整合面,而在沉降中心为整合面。

SB2 和 SB3 分别是八道湾组 3 个层序的分界面,钻井揭露界面附近发育大段低位期粗碎屑物沉积。SB4 是三工河组与八道湾组的分界面,地震剖面上地层终止方式显示为上超和下超特征。SB5 是三工河组下部层序与上部层序的分界面,SB6 是西山窑组与三工河组的分界面,钻井岩芯显示该界面局部为整合接触,界面之上多发育砂砾岩和粗砂岩,多见对三工河组浅湖相泥岩冲刷侵蚀,地震剖面上只在局部显示下超特征,其低位体系域有斜坡扇发育。SB7 是西山窑组下部层序和上部层序的分界面。

2.2 体系域界面特征识别

(1) 初始湖泛面

在近海陆架区,初始洪泛面理论上表现为海水初次漫过坡折带,以下切谷被充填为标志,堆叠样式开始由进积转换为退积,形成向上逐渐变深的旋回^[18]。在陆相拗陷湖盆中,初始湖泛面的识别较为困难,长期的基准面下降使河流作用加强,在盆地边缘形成不整合面,随着湖平面由下降到缓慢上升,低位时期形成的粗碎屑物逐渐被细粒沉积物覆盖,开始湖扩期沉积,进积向退积转换,整体上形成向上变深的旋回。因此,研究区将低位晚期粗碎屑物之上发育的细粒沉积物的底界面作为初始湖泛面,在没有粗碎屑物发育的地方,可能发育根土岩或古土壤层,初始湖泛面可能与层序界面重合。局部地区,初始湖泛期低位粗碎屑物之上可能发育煤层和炭质泥

岩,可作为初始湖泛面的标志。若发育明显的地形坡折带,在识别低位进积地震反射层的基础上,可将首次超覆坡折带的退积反射层作为初始湖泛面的标志。研究区内地震剖面上低位体系域之上首次超覆坡折带的反射同相轴可作为初始湖泛面的标志(图 3)。

(2) 最大湖泛面

最大湖泛面是在一个基准面变化周期内水体最深、可容纳空间最大时期形成的最大沉积非补偿面,是由湖扩期退积向高位期进积转换的分界面^[18]。钻井岩芯上最大湖泛面处沉积物粒度最细(凝缩段),表现为大段深水相泥岩。测井曲线上最大湖泛面处于总体变化的拐点处,表现为高的自然伽马值和低的电阻率值。地震剖面上最大湖泛面一般难以识别,局部表现为一个收敛的下超面(图 4)。内陆湖相盆地,最大湖泛面处于湖平面升降的拐点位置,该界面上、下地层岩性、物性和颜色变化特征具有明显差异,界面之下为湖侵体系域,岩性多为暗色泥岩,界面之上砂岩含量明显增加,总体显示向上变浅、变粗的旋回。最大湖泛期沉积物多具有稳定的区域分布和可对比性。研究区将全区分布稳定的大段浅湖相泥岩,作为最大湖泛的标志。

2.3 侏罗系层序地层划分

通过对盆地二维地震剖面、钻井岩性及测井曲线的分析,将中下侏罗统地层划分出 1 个二级层序,7 个三级层序,其中八道湾组划分为 SQ1、SQ2、SQ3 等 3 个层序,三工河组划分为 SQ4、SQ5 等 2 个层序,西山窑组划分为 SQ6、SQ7 等 2 个层序(表 1)。三工河组两个层序在盆地大部分地方缺失了高位体系域,具有低位体系域和湖扩体系域的二元结构。八道湾组、西山窑组发育低位体系域、湖扩体系域和高位体系域 3 个完整的体系域。

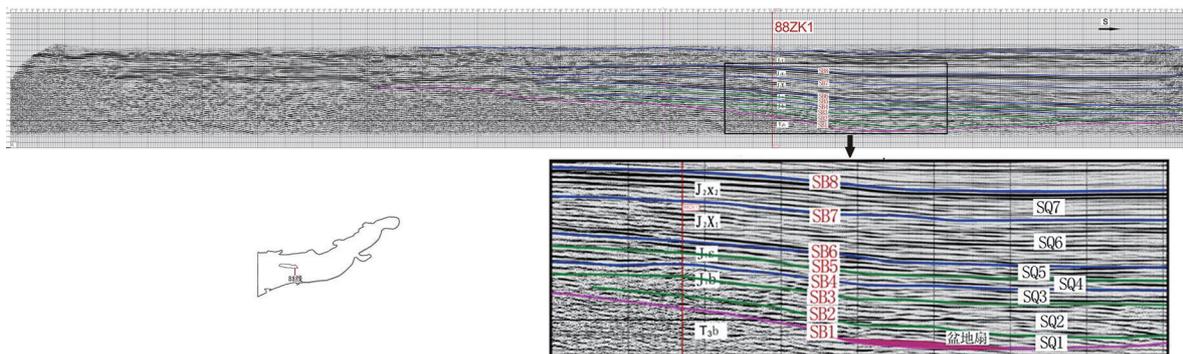


图 3 和什托洛盖盆地 88 线地震层序地层格架解释

Fig. 3 The interpreted seismic sequential stratigraphy frame of line 88 in the basin

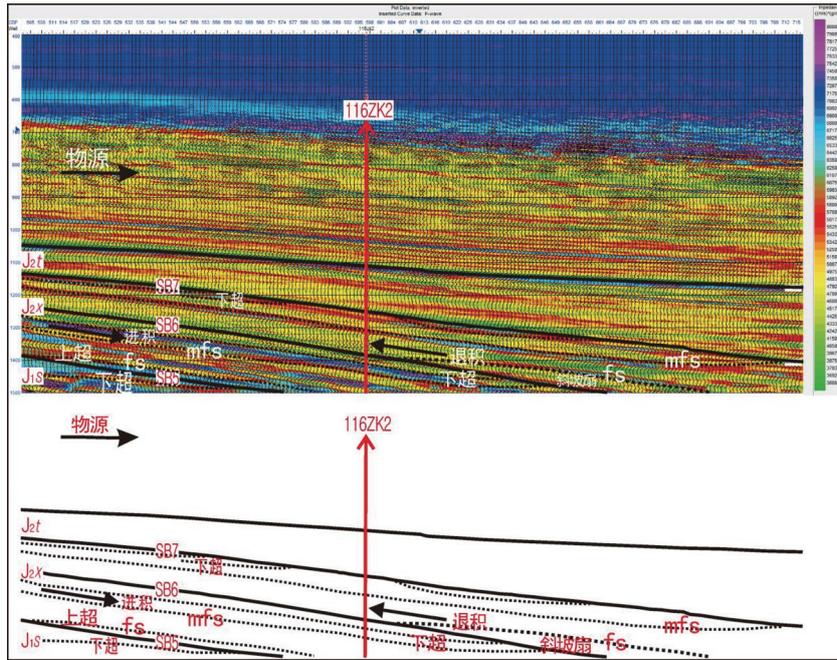


图 4 和什托洛盖盆地 116 地震剖面层序界面特征

Fig. 4 Characteristics of sequential interface of seismic section 116 in the basin

表 1 和什托洛盖盆地中-下侏罗统层序地层划分

Table 1 Sequential stratigraphic division of lower-middle Jurassic Series in the basin

地层时代				地层层序			地震反射终止类型	构造运动
系	统	群	组	关键界面	三级层序	体系域		
侏罗系	中统	水西沟群	头屯河组 J ₂ ^t	SB8			上超/下超/不整合 削蚀	燕山运动 (区域不整合)
			西山窑组 J ₂ ^x	SB7	SQ7	高位湖扩	上超/下超/整合 顶超	
				SB6	SQ6	低位湖扩	上超/下超/整合 顶超	
			三工河组 J ₁ ^s	SB5	SQ5	低位湖扩	上超/下超/整合 顶超	
				SB4	SQ4	高位湖扩	上超/下超/整合 顶超	
				SB3	SQ3	低位湖扩	上超/下超/整合 顶超	
				SB2	SQ2	高位湖扩	上超/下超/整合 顶超	
			八道湾组 J ₁ ^b	SB1	SQ1	低位湖扩	上超/下超/整合 顶超	
				SB1			上超/下超/不整合 削蚀	
			二叠系	下统		卡拉岗组 P ₁ ^{k1}		

SQ1 为侏罗纪沉积早期,处于盆地形成时期的初始沉降阶段。SQ1 低位体系域发育较厚的冲积扇-扇三角洲粗碎屑沉积,湖扩体系域发育灰色、灰白色的泥岩和粉砂质泥岩,高位体系域为扇三角洲

平原和扇三角洲前缘沉积,普遍发育有侧向连续的煤层,厚约 5 m。SQ2、SQ3 和 SQ4 处于盆地加速沉降阶段,对应八道湾组中后期及三工河组早期。SQ2 和 SQ3 体系域构成及其特征与 SQ1 相似,低位体系域发育厚度不等的扇三角洲砂砾岩夹砂岩,湖扩体系域发育滨浅湖相泥岩与泥炭沼泽,煤层厚约 10 m,高位体系域为扇三角洲平原和扇三角洲前缘沉积,发育有薄煤层。SQ4 为三工河组上部层序,发育低位体系域和湖扩体系域,高位体系域缺失。SQ5 及 SQ6 早期为盆地最大沉降阶段,SQ6 中晚期和 SQ7 处于湖盆萎缩于浅阶段。SQ4 和 SQ5 整体为非含煤岩系,岩性主要为砂砾岩、砂岩、粉砂质泥岩和泥岩。图 5 为和什托洛盖盆地 132ZK1 井层序地层及沉积体系划分。SQ6 在盆地北缘发育有低位体系域辫状河道沉积的大套砂岩,湖扩体系域和高位体系域均发育有厚度不等的煤层。SQ7 的高位体系域发育厚煤层,且在全区连续分布,为西山窑组主要成煤期,煤层厚度 15 m 左右。

3 结语

(1)层序界面在地震剖面上表现为强反射层,二级层序受全球性或区域性的构造因素控制,三级层序与盆地内部构造演化、湖平面变化、沉积物供给及

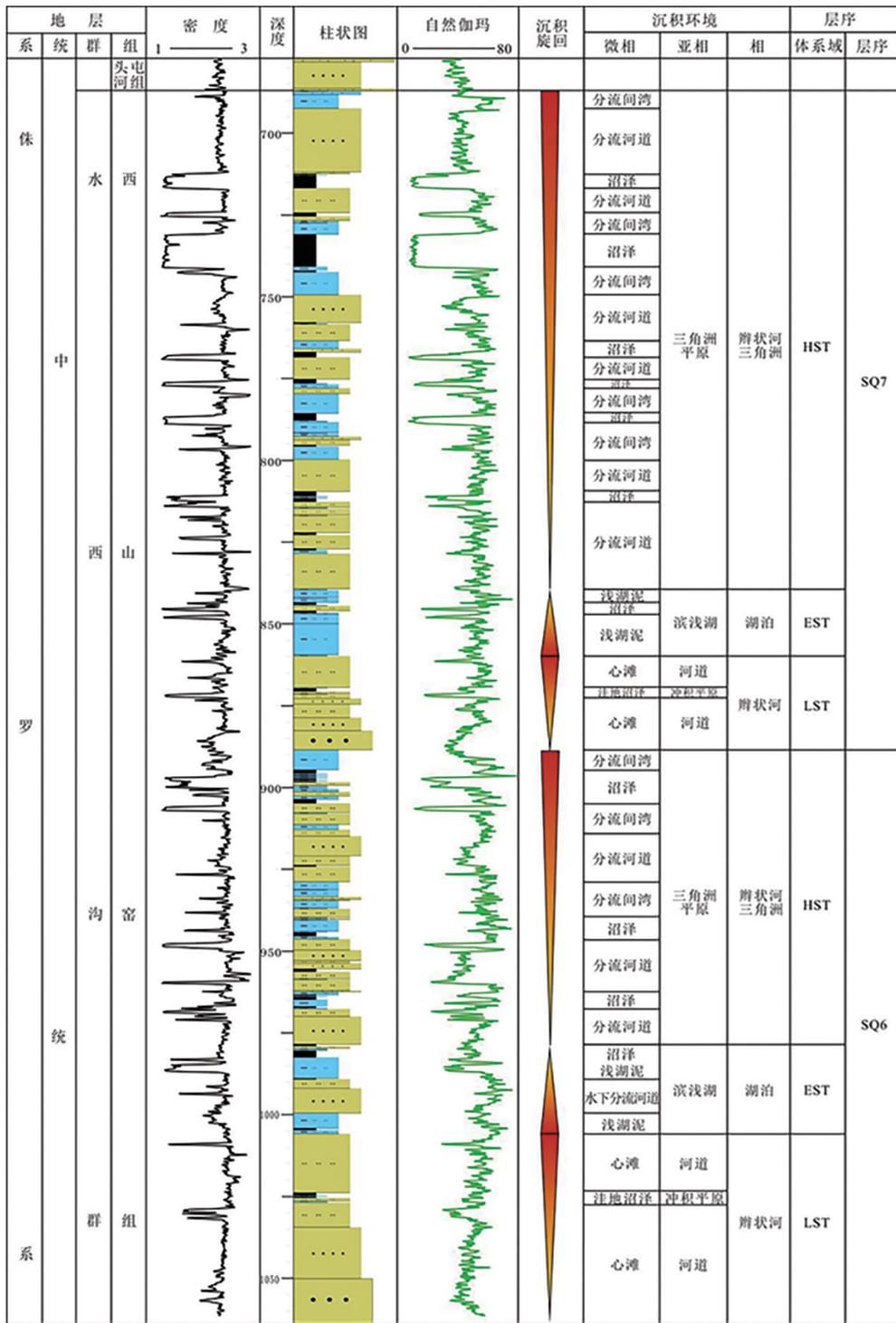


图5 和什托洛盖盆地132ZK1井层序地层及沉积体系划分

Fig. 5 Division of sequential stratigraphy and sedimentary system in well 132zk1 in the basin

古地理环境等因素的变化有关。研究区中下侏罗统可识别出2个二级层序界面,6个三级层序界面。二级层序界面层包括SB1和SB8,三级层序界面包括SB2、SB3、SB4、SB5、SB6和SB7。

(2)综合研究地震剖面,结合钻井标定和测井解

释,研究区中下侏罗统地层可划分出1个二级层序,7个三级层序,其中八道湾组划分为SQ1、SQ2、SQ3等3个层序,三工河组划分为SQ4、SQ5等2个层序,西山窑组划分为SQ6、SQ7等2个层序。

(3)地震剖面上低位体系域之上首次超覆坡折

带的反射同相轴可作为初始湖泛面的标志,全区分布稳定的大段浅湖相泥岩可作为最大湖泛的标志。三工河组在盆地大部分地方缺失了高位体系域,具有低位体系域和湖扩体系域的二元结构。八道湾组、西山窑组发育低位体系域、湖扩体系域和高位体系域 3 个完整的体系域。SQ1 高位体系域及 SQ6、SQ7 湖扩体系域和高位体系普遍发育煤层,主要煤层位于 SQ7 高位体系域。

参考文献:

- [1] Payton. 地震地层学[M]. 牛毓荃等译. 北京:石油工业出版社,1980:56-69.
- [2] Vail P R. Seismic stratigraphy interpretation using sequence stratigraphy. Part 1: Seismic stratigraphy interpretation procedure [J]. American Association of Petroleum Geologists, Studies in Geology, 1987, 27(1): 1-10.
- [3] Catuneanu O. Sequence stratigraphy of clastic systems: concepts, merits, and pitfalls [J]. Journal of African Earth Sciences, 2002, 35(1): 1-43.
- [4] Neto A, Pessoa P, Pinheiro L, et al. Seismic stratigraphy of a partially filled incised valley on a semi-arid continental shelf, Northeast Brazil [R]. Geo-Marine Letters, 2021, 41(2).
- [5] 冯动军, 李胜利, 黄兴文. 井震约束下高分辨率层序地层划分与对比:以准噶尔盆地石南地区为例[J]. 石油天然气学报, 2010(5): 165-170.
- [6] 张杰, 赵玉华. 鄂尔多斯盆地三叠系延长组地震层序地层研究[J]. 岩性油气藏, 2007(4): 71-74.
- [7] 蒲仁海, 梅志超, 唐忠华. 准噶尔盆地彩南地区石树沟群地震层序划分与层序地层学解释[J]. 地球科学, 1994(6): 769-777.
- [8] 陈扬, 马效杰, 黄芸. 准东白家海凸起井震统一高分辨率层序地层分析[J]. 天然气工业, 2007(S1): 489-490.
- [9] 董艳蕾, 陈祥, 伍炜, 等. 准噶尔盆地西北部春光探区白垩系地震沉积学研究[J]. 古地理学报, 2020, 22(3): 412-427.
- [10] 杨存, 徐志诚, 叶月明, 等. 智能化地震层序地层解释新技术研究及应用[C]//中国石油学会. 2021年物探技术研讨会论文集, 2021: 4.
- [11] 周继兵, 庄新国, 张东亮. 新疆准东煤田东部层序地层学及聚煤规律研究[J]. 新疆地质, 2010, 28(3): 334-338.
- [12] 庄新国, 李绍虎, 马小平, 等. 伊宁凹陷金鑫煤矿侏罗系露头剖面层序地层分析[J]. 新疆地质, 2013, 31(1): 83-88.
- [13] 潘力川, 王平, 庄新国, 等. 和什托洛盖盆地地下-中侏罗统层序地层学及聚煤规律研究[J]. 新疆地质, 2014, 32(1): 130-135.
- [14] 马小平, 周继兵, 葛栋锋, 等. 和什托洛盖盆地中侏罗统西山窑组层序地层及聚煤规律分析[J]. 新疆地质, 2016, 34(4): 534-540.
- [15] 关晓巍, 姜传金, 韩梦璐, 等. 全局优化层序地层地震解释技术研究及应用:以徐家围子断陷下白垩统沙河子组为例[C]//中国地球物理学会油气地球物理专业委员会, 江苏省地球物理学会, 中国石化石油物探技术研究院. 2019年油气地球物理学术年会论文集, 2019: 5.
- [16] 凌云, 林鸿梅, 张红杰, 等. 层序地层学与局域三维地震解释[J]. 石油物探, 2021, 60(5): 773-783.
- [17] 马晓鸣, 何登发, 吴晓智, 等. 前陆冲断带的后期演化:负反转与再次冲断:以中国新疆和什托洛盖盆地为例[J]. 地质科学, 2010, 45(2): 1066-1077.
- [18] 王华. 层序地层学基本原理、方法与应用[M]. 武汉:中国地质大学出版社, 2008: 383.

Seismic sequence analysis of Early-Middle Jurassic Series in Heshituoluogai basin, Xinjiang

MA Xiaoping^{1,2,3}

(1. Key Lab of Tectonics and Petroleum Resources, Ministry of Education, Wuhan 430074, China;

2. Turpan Jinyuan Mining & Metallurgy Co. Ltd, Changji 831100, Xinjiang, China;

3. No. 1 Geological party, BGMRED of Xinjiang, Changji 831100, Xinjiang, China)

Abstract: Study on seismic sequential stratigraphy is of great significance to building stratigraphy frame, division of sedimentary systems and correlation of coal seams. Seismic sequence interpretation is based on seismic section to identify different Uncoformities and the corresponding interfaces and carry out lateral correlation for the tracing and closure. Based on abundant seismic sections in the Northwest Xinjiang and Heshituoluogai basin and drilling data and interpretation of well log is studied seismic sequential stratigraphic characteristics of Middle-Lower Jurassic Series in the basin and 2 interfaces of order 2, 6 interfaces of order 3, 1 sequences of order 2, 7 sequences of order 3 recognized. In Badaowan formation are recognized 3 sequences of order 3. Sangonghe formation is divided into 2 sequences of order 3, Xishan formation 2 sequences of order 3. In high standard system track SQ1, lake expanding system track SQ7 and high standard system track SQ7 generally occur coal seams but the main coal seam in highstand system track SQ7.

Key Words: seismic survey; sequential stratigraphy; Early-Middle Jurassic series; Heshituoluogai basin; Xinjiang