

文章编号:1000-0550(1999)增-0734-08

陕甘宁盆地鄂托克前旗地区奥陶系 风化壳的地震正演模型

卫延召¹ 冯江² 宋海明² 王多云²

1(北京石油勘探开发科学研究院 北京 100083) 2(中国科学院兰州地质研究所 兰州 730000)

摘要 针对鄂托克前旗地区下古生界奥陶系风化壳形态,以二维地震资料为主,辅之以钻井及测井资料,利用概念性地震模型正演法,通过地质模型—模拟响应—实际地震剖面三者的对比分析,初步建立起研究区不同古地貌单元同实际地震测线特征之间的对应关系,并藉此识别掌握了研究区奥陶系古风化壳的单测线特征,对在地震测线上风化壳标志层的标定及奥陶系风化古地貌的恢复都有具有重要意义。

关键词 鄂托克前旗 奥陶系 风化壳 概念性正演模型

第一作者简介 卫延召 男 1969年出生 博士 天然气地质

中图分类号 P631.4 **文献标识码** A

1 前言

众所周知,我国目前最大的陆上天然气田—陕甘宁盆地长庆气田的成藏要素之一是奥陶系风化壳的潜台高部位残留的马五¹含膏白云岩,经后期风化淋滤形成溶蚀孔洞型良好储层^[1,2]。由此,针对此类天然气藏的勘探开发,首先从宏观上识别,圈定潜台高部位是十分重要的。而且,实践证明,以地震反射资料为依托的地震地层学方法能够在风化壳古地貌特征研究中发挥积极作用^①。

鄂托克前旗(以下简称为鄂前旗)地区位于长庆气田西部。由于其处在中央古隆起与中部古潜台之间,由此人们认为该地区可能是一个马家沟组顶部严重缺失的负地形单元,不存在类似马五¹的膏云坪相带地层,因此不具备良好的天然气储集潜力。本文在借鉴前人工作的基础上,以1997年在该区采集的反射波法高分辨率地震资料为依据,参照周缘有限的钻井测井资料,用概念性二维地质模型的地震模拟为主要方法,对风化面上地貌形态的地震响应做了描述,并与实际地震资料进行分析对比,证明该地区奥陶系风化壳存在着台梁沟槽等地貌形态,某些部位可能保留有马五¹膏云岩,这无疑暗示着该地区的天然气良好前景。

2 地层结构特征

研究区古生界地层结构特征明显,首先,以奥陶系风化面为界将下古生界海相碳酸盐岩地层与上古生界海陆过渡相及陆相地层二分,从声波测井曲线上也具二分性,风化面以下速度较高,均在5 500 m/s之上,而上古生界除了太原组灰岩速度较高外,其它均在5 000 m/s之下(图1)。因此在研究区目标层段的地层结构中,风化面标志应该是最明显的特征之一。另外,在研究区晚古生代岩相古地理的演化中有两个重要成煤期,即太原期和山西期,表现在岩性剖面上则是太原组和山西组分别发育一套含煤岩系(图1)。煤系地层不仅从外观识别上属良好的标志层,更重要的是它的低声波速度使之成为极好的地震反射标志层。因此,两套煤系地层无疑是研究区目标层段地层结构中的另一重要特征。

3 地震反射特征

图2为研究区目标层段叠后高分辨率精细处理的二维地震(反射波法)剖面段,目标层段的中部有两套强反射同相轴(显示为波峰),从形态上描述,上波峰宽度较小,但比较光滑平整,横向连续性也较好,本文称其为S1反射,而下波峰则较宽大,其形态

① 王多云等. 鄂尔多斯盆地鄂托克前旗地区古生界天然气储层预测研究报告. 1997
收稿日期:1999-06-07

在横向上也不具连续性,本文称其为S2反射。S1和S2构成了目标层段的主要反射结构特征,同盆地东部地区相比,S2之下少了一套强波峰反射S3。根据负极性显示特征分析,在东部地区S1反射对应的地质界面为山西组煤系地层的底界,S2反射对应太原组煤系地层底界,而S3反射则对应风化面^①,而在研究区,由于本溪组地层普遍较薄甚至缺失,造成太

化古地貌形态的影响,本文的目的就在于通过模型正演建立这种对应关系。

4 模型设计方法

地震模型分正演模型和反演模型两大类,前者是利用地层关系模拟地震响应,后者则是利用地震响应推断地层关系。一般情况下,编制二维地震模型分如下几步,第一步是根据物理观测结果和推理提出一个地质模型,并计算出相当于这个原始地质模型的合成响应;第二步是仔细对比合成地震响应与经过处理的地震剖面,以确定原始地质模型是否可靠;最后一步是当发现二者之间有一定差别时,要适当改变地质参数(如密度、速度、地层厚度)或者数学参数(如采样间隔、子波特征或地震波传播的阶距)^①。

4.1 概念性正演模型

所谓概念性正演模型,是根据研究区的地层结构特征、勘探现状以及对古地貌体系的一般性认识而采取的一种旨在反映定性概念而不追求量化的复杂性的正演模型。根据这种思路,针对研究区奥陶系古风化壳的形态,设计了大量反映简单地质概念的地质模型,并计算出其相应的模拟地震响应,经过同实际地震剖面相比较,选择了一些具有代表性的、能反映沟台概念体系的二维正演模型,并以此对研究区奥陶系古风化壳的形态进行了单测线描述。

4.2 模型参数设计

二维正演模型设计中最重要参数不外乎波阻抗与反射系数,假设波阻抗用 I 表示,反射系数用 R 表示,依定义,波阻抗则可以下式表示^[3,4]:

$$I(t) = \rho(t) * V(t)$$

其中 ρ 为岩性密度, V 为岩层声波速度, t 为设计的时间或深度序列。

反射系数是在一波阻抗差界面上的反射振幅之比,用波阻抗表示为:

$$R(t) = (I(t_2) - I(t_1)) / (I(t_2) + I(t_1))$$

当地质界面上下波阻抗增加时,规定其反射系数为正值,反则为负值。由公式可知,反射系数的大小取决于反射界面上下的速度、密度差,因此,模型参数的设计最终归结为不同厚度、不同接触关系的速度、密度层的设计。根据钻井及测井资料研究,研究区古生界岩性的声波速度差异较大,而岩性的

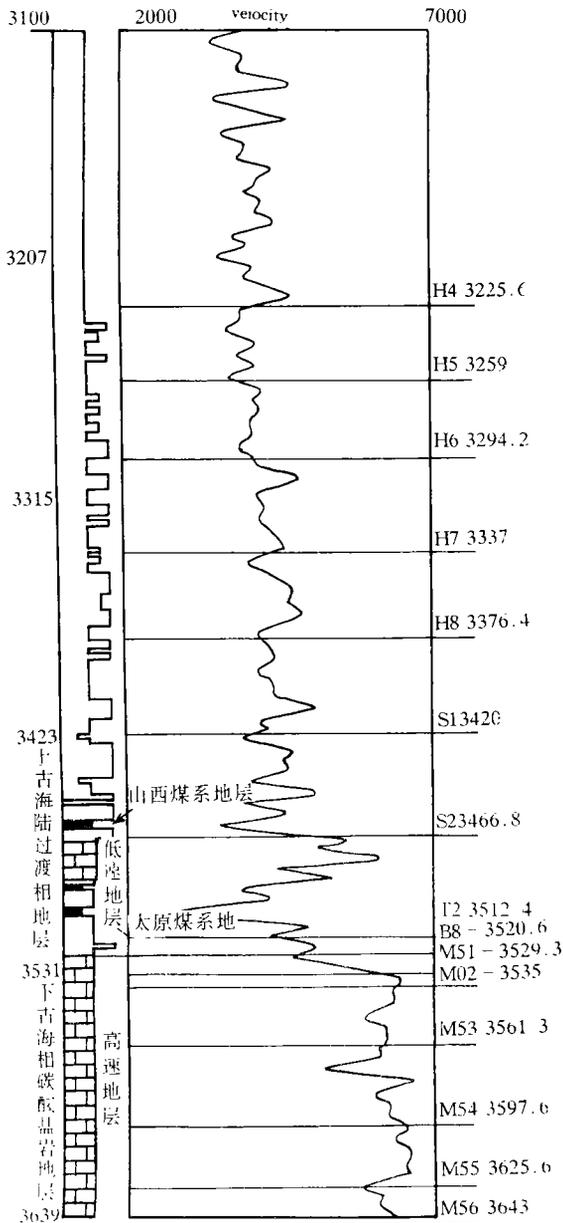


图1 研究区目标层段地层结构特征

Fig. 1 The characteristics of objective formation of Ertuoqianqi

原组煤系地层距风化壳较近,二者的反射发生复合形成S2,因此,S2的形态的变化在一定程度上受风

① 蒋加钰. 鄂尔多斯盆地中东部天然气田储层预测报告. 1994

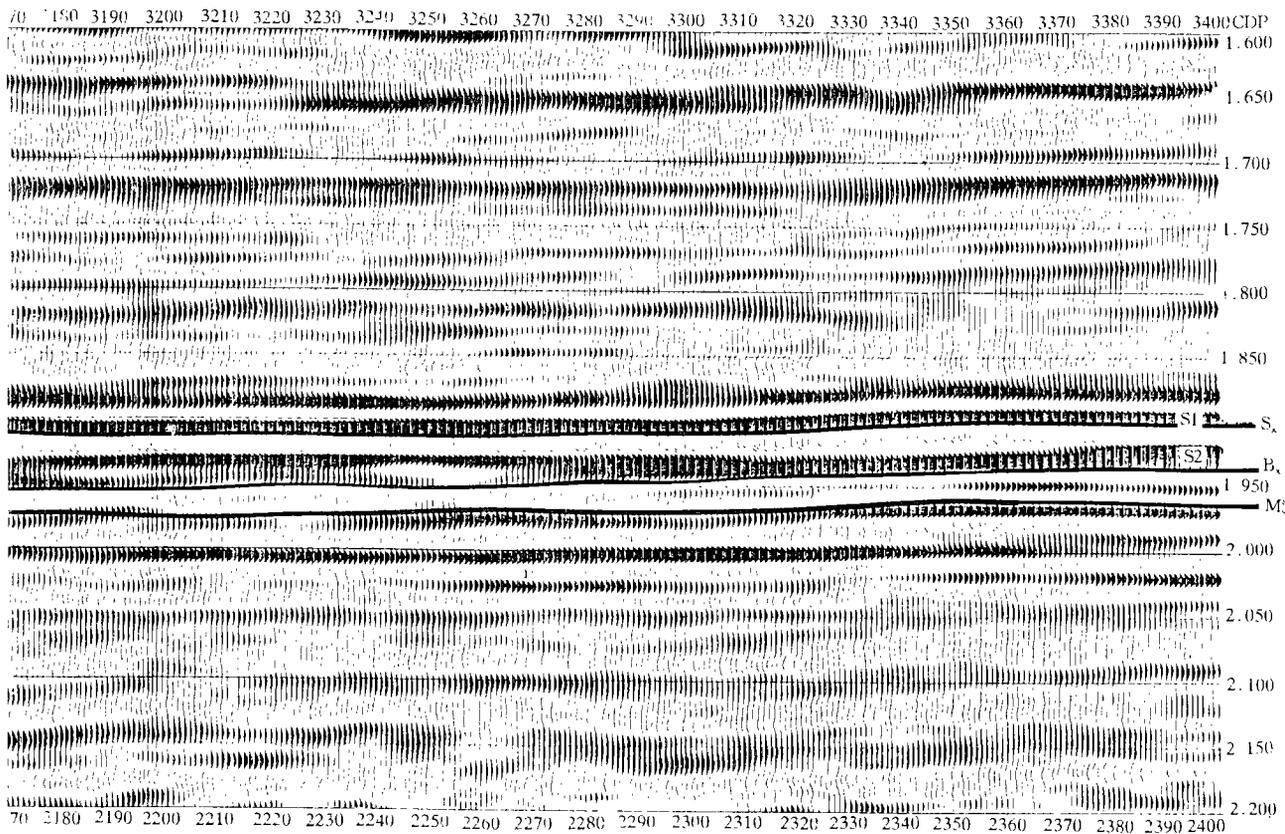


图2 研究区目标层段地震反射特征

Fig. 2 The seismic characteristics of objective formation of Ertuoqianqi

密度差异很小,不同岩性的波阻抗差主要由速度引起,而密度因素的贡献较小^①,同时也为了满足概念性模型简单化宗旨,因此,反射系数公式可简化为:

$$R(t) = (V(t_2) - V(t_1)) / (V(t_2) + V(t_1))$$

因此,模型参数的设计最终归结为地质模型中不同岩性地层的速度值和厚度值的设计。子波类型及频率的选取在模型参数设计中也是一个很关键的问题,选取合适与否将直接影响模型的模拟效果。从理论上讲,直接从实际地震剖面中提取子波及频率参数进行模拟效果最佳,但由于实际情况极其复杂,影响因素极多,操作起来也比较繁琐,因此,根据经验多用里克子波代替^②,至于频率,可根据实际地震剖面的采集频率而定,在研究区,模拟子波的频率采用45HZ,经过模拟地震记录同实际地震剖面对比,效果良好。

根据以上思路及方法,本文所设计的地质模型都紧扣风化壳和煤系地层这两个重要的地层骨架特征,依据钻井声波测井的统计资料设计模型中不同

岩性的速度参数,并结合钻井及沟台体系的概念,针对研究区奥陶系风化壳形态及其附近地层(小于100m),进行了概念性模型设计,然后经过对地质模型—模拟地震响应—实例剖面详细系统地分析对比,将这些概念性地震模型归纳为台型模型、沟型模型、台缘斜坡三类,基本上反映了研究区奥陶系风化壳形态同实际地震反射特征之间的简单对应关系。

5 模型分述

5.1 台型模型

台型模型是针对研究区奥陶系古潜台而设计的一种概念性模型,所谓台型,实际上就是指风化面上凸型。模型的地层结构符合研究区古生界二元地层结构的特征,即风化壳下部为海相高速碳酸盐岩地层,上部为海陆过渡相低速地层。模型中还设计了两

① 卫延召. 鄂尔多斯盆地鄂托克前旗地区奥陶风化壳形态研究. [硕士学位论文]兰州:中科院兰州地质所, 1998

② 蒋加钰. 鄂尔多斯盆地中东部天然气田储层预测报告, 1994

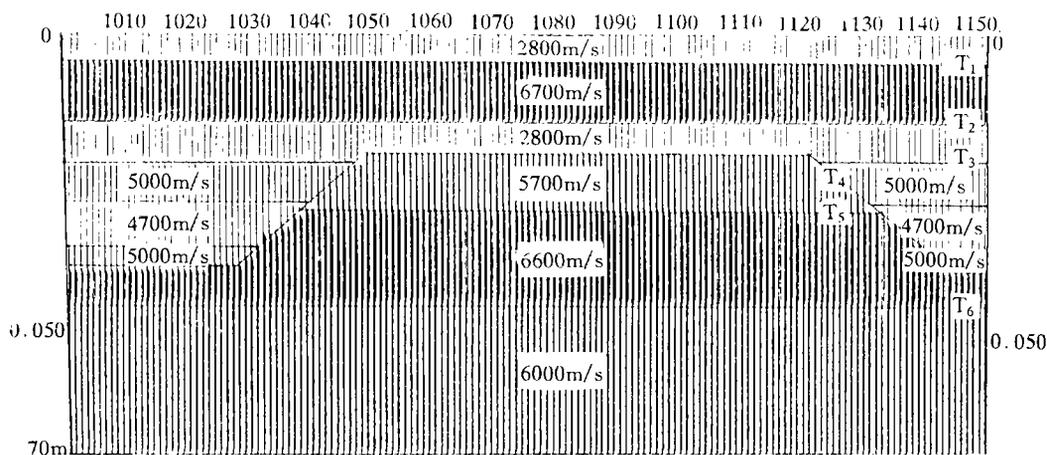


图 3—(1) 台型地质模型

Fig. 3—(1) The geological model of paleotableland

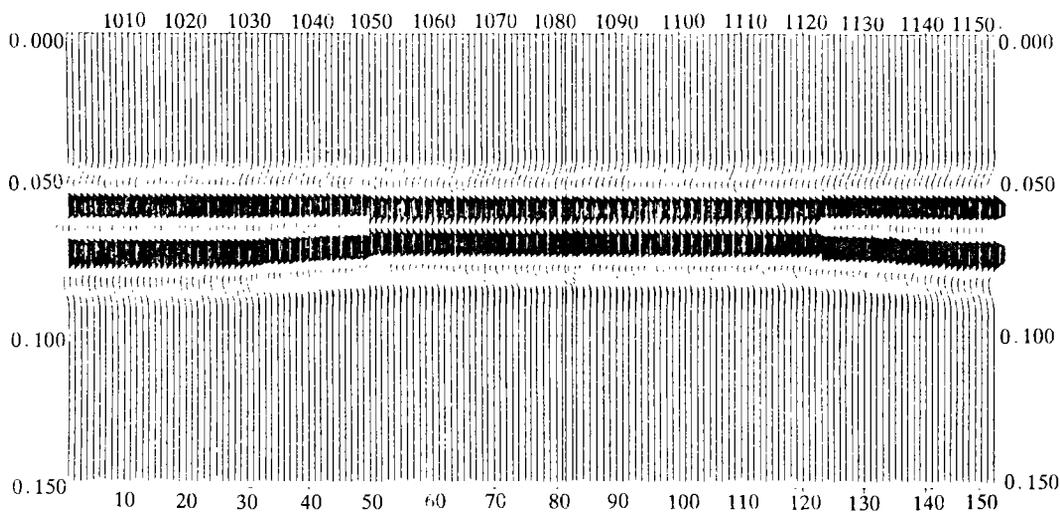


图 3—(2) 台型模型模拟反射

Fig. 3—(2) The synthetic reflection of paleotableland model

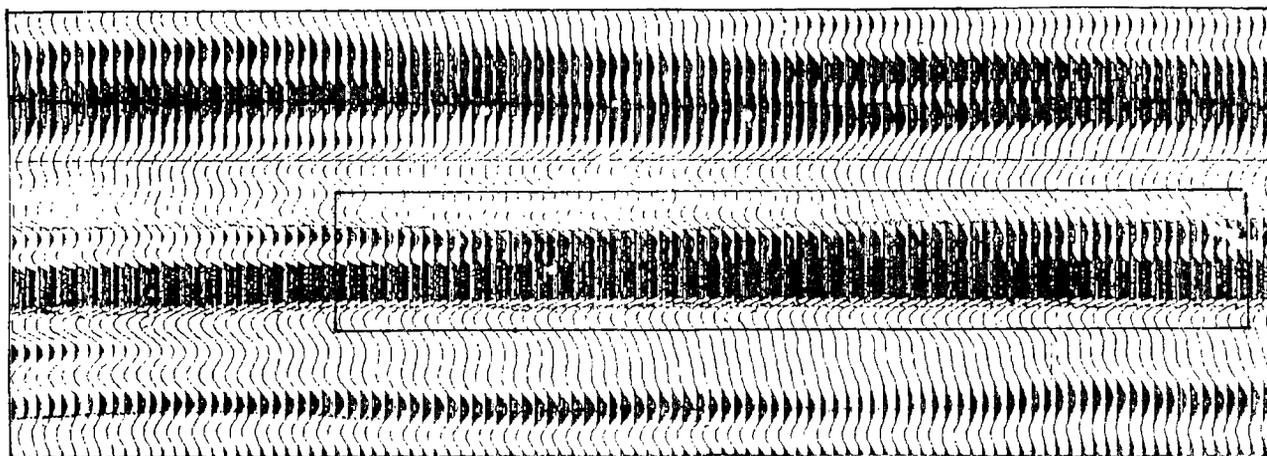


图 3—(3) 台型风化壳实例剖面

Fig. 3—(3) The real seismic reflection of paleotableland

套相当于山西组和太原组煤层的地层以及相当于太原组灰岩的高速地层。台型模型的设计旨在研究了解台型风化面同相邻的上古生界地层界面的组合地震反射特征。图3-1)为台型地质模型,图中T4界面即为设计的台型风化面,图3-2)为该地质模型的模拟地震响应,图面由两套基本平行的波峰同相轴组成,下波峰较上波峰宽,并且两波峰在中间部位相互靠拢,致使二者之间的波谷相位在该处突然变窄,另外,下波峰同相轴具有由两端向中部的低水平—倾斜—高水平的变化趋势,这两个特征反映了台型风化面的存在。图3-3)为识别的台型风化面反射的实例剖面,图中方框圈定部分即为解释目标,其同相轴的组合特征同模型的模拟特征类似。

5.2 沟型模型

沟型模型旨在模拟具有沟型风化面的古侵蚀地

貌单元。此套模型设计原则同台型模型基本相同,根据沟谷侵蚀深度及其相应的模拟地震响应特征,将之分为古潜坑型和古潜沟型两种类型,二者没有本质的区别,本文主要就古潜沟型加以介绍。图4-1)为古潜沟地质模型,其中T5为风化面,它在中部下凹,即为设计的沟型风化面,模型中还设计了一套类似于太原组煤系地层的低速地层,目的在于模拟存在古潜沟时太原组煤层底界和风化面这两个最强的正反射系数界面之间的反射复合情况。图4-2)为该地质模型的模拟地震响应,图面基本上由一条宽大的波峰同相轴组成,很明显,它是上述两界面的复合反射,并且该同相轴在中部具有加宽下凹(古潜坑型也具有此特征)和波峰开裂的特征,所谓波峰开裂,是指在宽大的波峰同相轴之间出现一细小的波谷相位。这些特征是由反射的不同复合程度所造

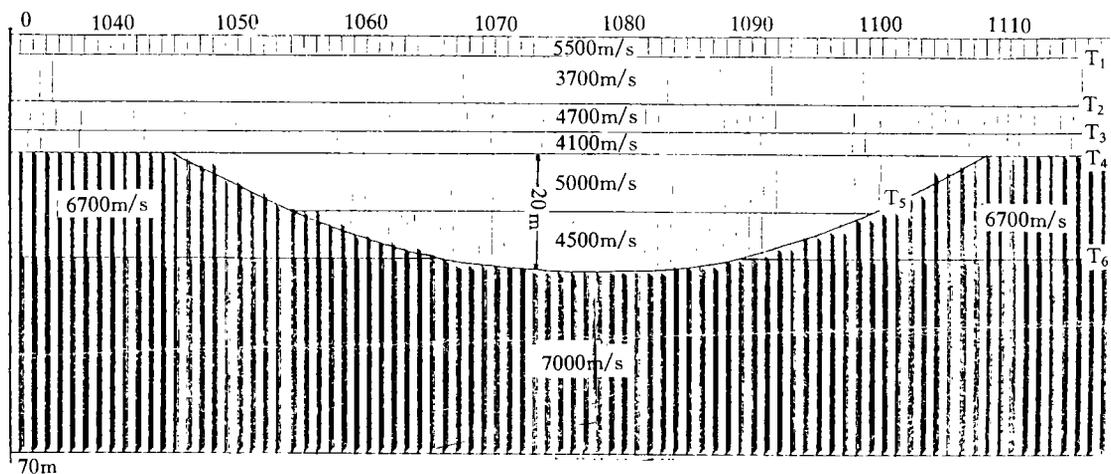


图4-1) 古潜沟地质模型

Fig. 4-1) The geological model of paleovalley

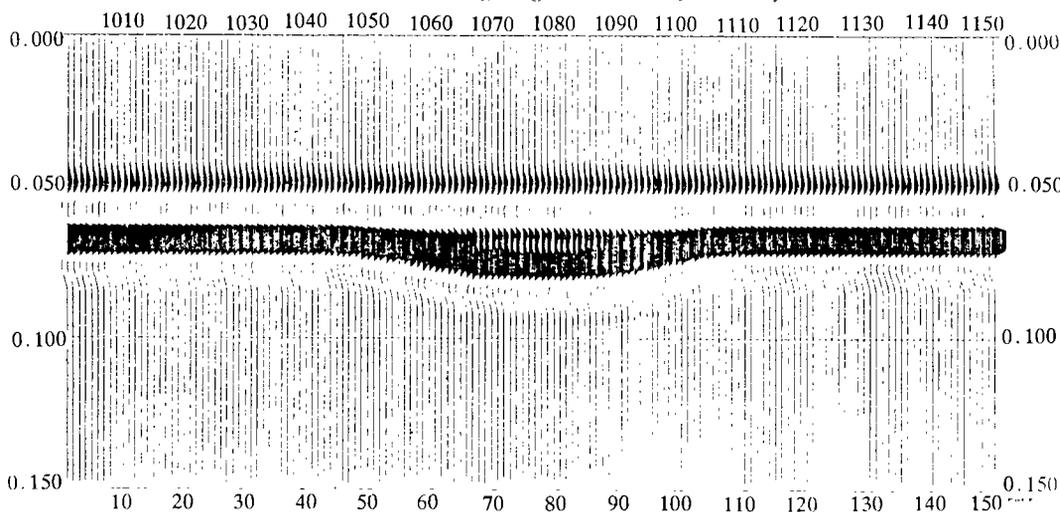


图4-2) 古潜沟模拟地震响应

Fig. 4-2) The synthetic reflection of paleovalley model

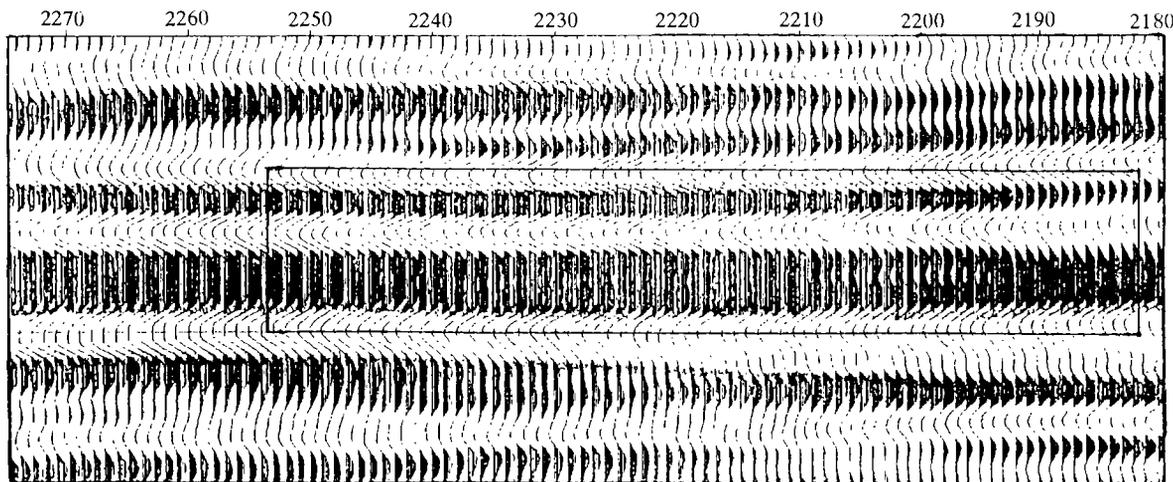


图 4-(3) 古潜沟反射剖面实例

Fig. 4-(3) The real seismic reflection of paleovalley

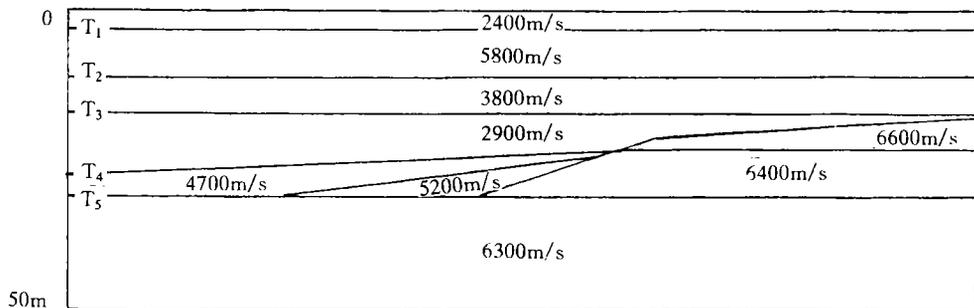


图 5-(1) 台缘斜坡地质模型

Fig. 5-(1) The geological model of paleoslope

成的,在沟的最深处由于(本溪组)充填物最厚,造成太原组煤层底界和风化面二界面的反射复合程度最弱,形成波峰开裂现象。图 4-(3)是古潜沟的实例反射剖面,目标图面仍以两套波峰同相轴为基本特征,上波峰同相轴窄小,是山西组底部煤层的反射(模型中没有涉及),下波峰同相轴宽大,且有波峰开裂的特征,是由太原组煤层底界反射和风化面反射

及其中间所夹波谷同相轴组成,经分析,上波峰为上

5.3 过渡类型—台缘斜坡

弱复合而形成,说明了奥陶系地层被侵蚀较深,即古潜沟的存在。

过渡类型是相对于古潜台和古潜沟之间的侵蚀斜坡而言的,本文称其为台缘斜坡。图 5-(1)为台缘斜坡的地质模型,T5 为风化面,在中部呈倾斜状,在风化壳之上还设计了两套低速煤系地层,相当于山西组和太原组煤系地层,本模型的设计旨在模拟了解两套煤层及风化面三者之间的反射组合特征。图 5-(2)为该模型的模拟反射,由两套波峰同相轴

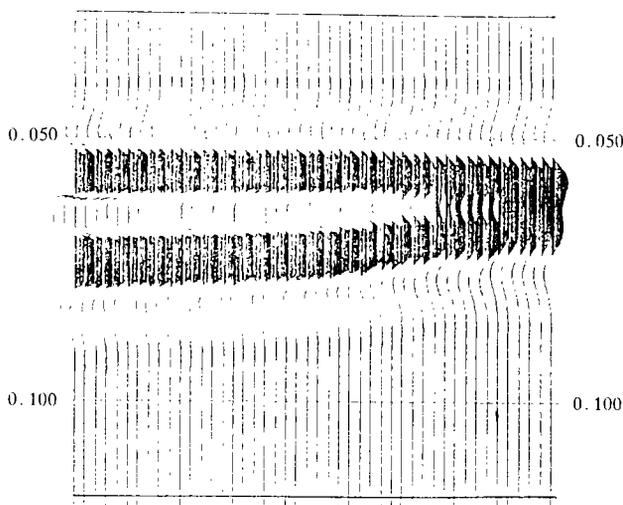


图 5-(2) 台缘斜坡模拟地震响应

Fig. 5-(2) The synthetic reflection of paleoslope model 煤层底界的反射,下波峰为下煤层底界及风化面的复合反射,二者之间的波谷同相轴从左到右由宽变

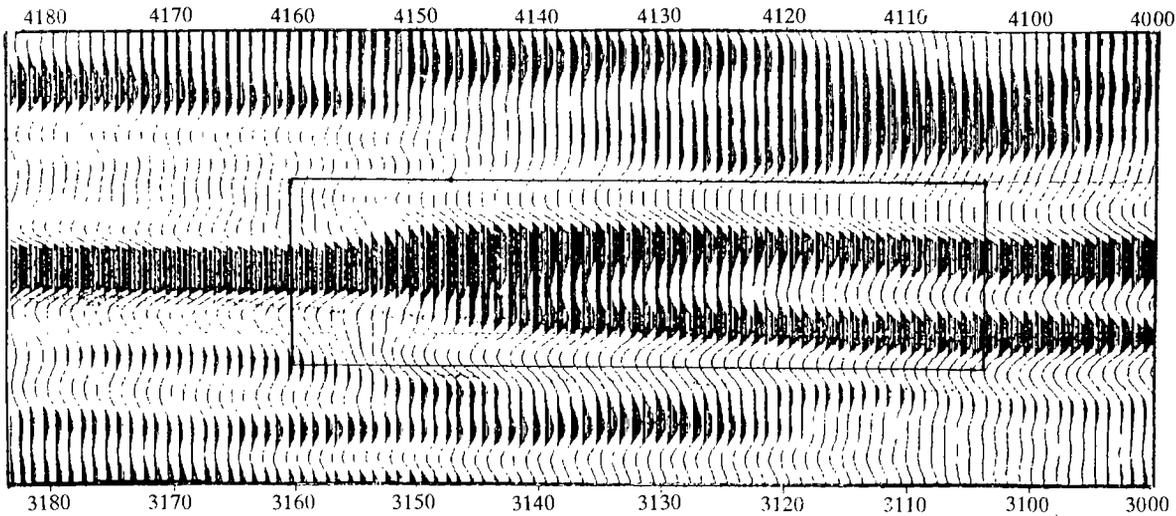


图5—(3) 台缘斜坡反射剖面实例

Fig. 5—(3) The real seismic reflection of paleoslope

窄直至消失,即波峰交叉现象,而且下波峰同相轴呈倾斜状向右上方抬起,反映了斜坡及上超充填物的形态。图5—(3)为台缘斜坡的反射剖面实例,反射特征同模型类似,证明了台缘斜坡的存在。

6 结论

山西组底部煤层、太原组煤层、风化壳以及风化壳以下的高速碳酸盐岩地层是贯穿模型正演始终的地质要素,它们是研究奥陶系风化壳单测线形态的地质基础,它们的不同组合特征在地震上表现出各异的组合反射特征,在地质上反映了不同的古地貌形态,结论如下:

第一,研究区太原组煤层距风化壳距离较近,二者的反射一般复合为一波峰同相轴,在沟区,由于沟谷充填物而使二者的间隔厚度增大,才出现波峰加宽、下凹,甚至出现波峰开裂现象。

第二,一般情况下,山西组底部煤层底界的反射呈一单相波峰同相轴,当古潜台存在时,山西组煤层可能减薄以及风化壳上抬而造成此同相轴同其下波峰同相轴(太原组煤层底界和风化壳的复合反

射)发生弱复合现象,同时,下波峰的低水平—倾斜—高水平的特征也反映了古潜台的存在。

第三,两波峰同相轴交叉以及下波峰倾斜上抬一般认为是台缘斜坡的反射特征。

根据以上认识,对研究区的控制测线进行了详细的分析对比,初步掌握了研究区奥陶系古风化壳的单测线形态特征,指导了在研究区高分辨率地震测线上对风化面标志层的标定工作,并结合奥陶系马五⁵底界面,运用残余厚度法对马五⁵以上奥陶系地层进行平面作图,其平面形态可以反映研究区奥陶系风化壳古地貌,对研究区的天然气勘探有重要意义。

参 考 文 献

- 1 杨俊杰,裴锡古. 中国天然气地质学(卷四)—鄂尔多斯盆地[M]. 北京:石油工业出版社,1996.152~155
- 2 戴金星,裴锡古. 中国天然气地质学(卷二)[M]. 北京:石油工业出版社,1996.32~35
- 3 徐怀大,王世凤. 地震地层学解释基础[M]. 北京:中国地质大学出版社,1990.64~82
- 4 陆孟基. 地震勘探原理及资料解释[M]. 北京:石油工业出版社,1991.14~16

The Study of Morphology of Ordovician Weathered Crust with Conceptual Seismic Model in Ertuoqianqi, Ordos Basin

WEI Yan-zhao¹ FENG Jiang² SONG Hai-ming² WANG Duo-yun²

¹(Research Institute of Petroleum Exploration and Development, Beijing 100083)

²(Lanzhou Institute of Geology, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000)

Abstract

The discovery and study of Changqing Gas Field in Ordos Basin has shown the gas exploration prospect of Paleozoic, especially the weathered crust gas reservoir of Ordovician System. Ertuoqianqi is one of the most favorable regions for gas exploration, and it has been paid much attentions for many years.

Mainly based on 2—D seismic data and coupled with drilling and well logging data, we studied and described the seismic characteristics of the morphology of the weathered crust of Ordovician, Ertuoqianqi, Ordos Basin through geological and seismic models.

Firstly, through the study of drills, well logs and sonic synthetic seismograms, we mastered the characteristic essentials of objective formations—the different sonic velocity between upper Paleozoic and lower Paleozoic and the two coal formations and their seismic characteristic. At the same time, we also understood the relations of Lithology and Logging parameters, which lays a foundation for developing seismic models.

Furthermore, we divided the shapes of the Ordovician weathered crust into four conceptual models, namely, paleotableland, paleopit, paleovalley and paleoslope. Using these models, we elementarily established the corresponding relations between paleogeomorphology and seismic characteristic with the analysis and comparison of geological models, seismic reflection and practical reflection. We have found that the distance between the lower coal formation and Ordovician weathered crust had important relations with the seismic characteristics.

Finally, this research is very valuable to interpret and calibrate the weathered crust of Ordovician system on seismic log and to draw the horizontal maps of the relic Ordovician formation over the M55. The maps might reflect the morphology of the weathered crust, and which is helpful to find Ordovician weathered crust gas reservoir and direct the gas exploration in Ertuoqianqi, Ordos Basin.

Key words Ertuoqianqi Ordovician weathered crust conceptual seismic model