

文章编号: 1001—1749(2011)03—0231—06

川东南涪陵地区石炭系黄龙组地震异常特征及其意义

施泽进^{1,2}, 夏文谦², 王长城², 张良六³

(1. “油气藏地质及开发工程”国家重点实验室 成都理工大学 四川 成都 610059;

2. 成都理工大学 能源学院 四川 成都 610059;

3. 重庆川东南地质大队物探院 重庆 400038)

摘要: 涪陵地区位于川东南探区北部, 通过该区石炭系黄龙组地震剖面测线逐条解释, 识别出了四种典型异常反射结构: ①地震同相轴波峰、波谷均表现为中振幅~弱振幅; ②地震同相轴下拉波峰振幅有强有弱, 上部波谷反射呈现强振幅~中振幅; ③地震反射同相轴明显下拉, 同时下拉同相轴上部反射呈现中振幅~弱振幅、下部反射振幅减弱; ④地震同相轴反射为弱振幅, 近空白反射或弱波谷反射。基于岩溶单元发育理论模型及该区沉积特征, 对四种典型地震剖面反射异常地质成因解释进行了地球物理正演模拟, 结果显示了与实际典型地震反射结构相吻合的地震剖面特征。其分别代表了岩溶高地峰丛与浅洼发育; 被泥质充填或半充填的溶洞或孔隙性非常高的储层发育; 高泥质含量充填物, 或低速度、未被完全充填的缝洞体发育; 7 m~9 m 及以下的黄龙组地层。同时, 基于特殊剖面结构研究成果, 对该区可能发育的新型储层类型进行了预测, 有效地指导了该区下部油气有利储层的寻找。

关键词: 反射结构; 地震异常; 正演模拟; 黄龙组; 川东南**中图分类号:** P 315.3⁺1 **文献标识码:** A

0 前言

涪陵地区位于川东南探区北部矿权区, 矿权面积约为 4 000 km², 在行政上隶属重庆市忠县、垫江和梁平三个县管辖。构造上位于川东褶皱带万县复向斜礁石坝~苟家场~黄泥塘斜列背斜带, 东邻大池干构造气田, 西邻大天池构造气田, 构造呈北东向延伸。黄龙组主要发育白云岩、角砾白云岩及(砂糖状)针孔白云岩夹浅褐灰色(角砾)灰岩^[1], 岩石速度普遍较高, 与上覆梁山组和下伏志留系韩家店组区别明显。作者通过涪陵地区大量的地震测线解释, 在该区识别了四种特殊地震反射结构, 基于沉积特征及岩溶地貌发育特征, 解释了特殊地震反射结构的地质意义, 并通过正演模拟进行了验证, 为该区的地震剖面精细解释, 寻找有利储层分布区, 提供了新的认识与指导。

1 地质背景

川东石炭系受云南构造运动影响, 长期暴露地表。暴露溶蚀、弱冲刷充填极为普遍, 往往形成暴露带、古土壤层, 以及淡水溶蚀及白云岩化等。同时研究表明, 涪陵地区石炭系沉积环境主要为受障壁体系复杂化的海湾潮坪—开阔潮下环境^[2], 具有发育暴露带、古土壤层, 以及淡水溶蚀和白云岩化等的沉积背景, 并被以往的钻井资料所证实^[3~7]。如峰 8 井溶洞被上覆梁山组泥质所充填, 形成水成岩墙, 池 37 井水成岩墙几乎从上到下贯穿整个石炭系^[8]。此外, 部份钻井井漏现象亦表

基金项目: 国家自然科学基金委员会与中国石油化工股份有限公司联合基金资助项目(40739903)

收稿日期: 2011-03-23

明了地下发育未被充填的缝、洞体系^[9,10]。

研究表明,在石灰岩发育区,构造抬升运动造成的古分化壳界面古地势,从高到低形成不同古水文区域分带,即补给区、径流区、排泄区。由于受不同水动力作用的影响,岩溶古地貌各具特色。①在补给区,降水下渗补给地下水,地下水以垂向运动为主,循环深度浅,深部岩溶不发育;②在径流区,地下水除了垂向渗入外,以水平运动为主,岩溶发育,并具有层状分布及垂向上有强弱分带的特征,部份强径流带可能形成网络状联通性好的溶蚀裂缝型强岩溶带;③在排泄区,地下水运动是以自下而上的垂向运动为主,并向泉群汇流(见图1)^[11]。图1较好地解释了岩溶地貌的分布特点,并被成功地运用到了川东石炭系地质特征解释^[12,13]。

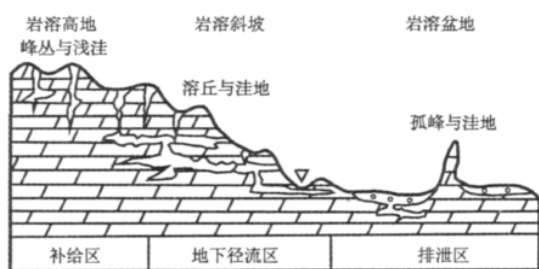


图1 岩溶地貌及古水文区域分带^[11]

Fig.1 Karst and hydrology region^[11]

2 异常反射的特征、解释及验证

川东石炭系由于受海西构造运动的影响,整体构造抬升而发生广泛暴露。经暴露溶蚀和弱冲刷充填,在该区往往发育暴露带、古土壤层以及淡水溶蚀及白云岩化等,导致该区地震剖面结构复杂,解释差异大。根据该区石炭系黄龙组大量地震剖面逐条解释,在该区识别了如下特殊的四种异常地震反射结构,结合岩溶单元发育理论以及本区石炭系黄龙组沉积特点,具体解释了各自可能的地质意义,并被相应的正演模型所证实。

2.1 第一类特殊反射

此类异常反射为同相轴上提或下拉现象,波峰波谷均表现为中振幅~弱振幅,上提伴随着下部志留系波峰增强,下拉伴随着志留系波峰减弱(见下页图2(a))。该反射异常在研究区主要分布在西北部,结合沉积~古构造特征,解释为该区位于相对较高的古地貌区域,处于古水文的补给区,该特殊反射为岩溶高地的峰丛与浅洼相间发育的地震

反射响应。根据工区实际沉积背景与不同岩性速度统计,采用上部为梁山组泥岩,速度为4 600 m/s,下伏黄龙组白云岩速度为6 300 m/s,设计正演模型(见下页图2(b1))。正演模型结果显示当石炭系为峰丛相对高位置时,反射同相轴会出现上提现象,同时其下部相位振幅会得到增强及上提。反之,当石炭系地层厚度减薄时,同相轴出现下拉现象,其下部相位振幅也相应减弱(见下页图2(b2)),与实际剖面结构特征相吻合(见下页图2(a))。

2.2 第二类特殊反射

此类特殊反射具有同相轴下拉,下拉波峰振幅有强有弱,但其上部波谷呈现强~中等反射特征(见后面图3(a))。该反射异常主要位于研究区的南部及中部区域,解释为岩溶谷地发育区各种不同充填程度缝洞系统的地震异常反射。因该区处于岩溶谷底,具有向岩溶洼地方向倾斜的河谷状地形,不仅是地表水,而且也是地下水易于聚集和排泄的区域,侧向侵蚀和下蚀作用强烈,沿着该岩溶谷地发育有落水洞或地下暗河,发育的岩溶单元不同及充填条件的不同,导致地震反射特征的差异。当岩溶导致落水洞或地下暗河发育,后期诸如此类不同的缝洞体系会出现二种被充填的可能:①被低速的泥质完全充填;②未被充填的溶洞或发育孔隙性非常高的储层。

针对具体的地质解释,采用上覆为梁山组泥岩,速度为4 600 m/s,下伏黄龙组白云岩速度为6 300 m/s,充填物设计为水成岩墙,速度为4 600 m/s(见后面图3(b1))构建正演模型,并且为了对比不同地层速度造成的影响。将该层分为三部分:①黄龙组沉积后,被溶蚀成洼地或形成落水洞,后期被梁山组充填,梁山组泥岩速度为4 600 m/s;②黄龙组沉积后,被溶蚀及白云岩化,形成储层,储层速度取下限5 600 m/s;③黄龙组沉积后,被溶蚀及白云岩化,形成储层,储层速度取5 000 m/s(见后面图3(c1))。

正演模型结果表明,石炭系上部被溶蚀充填低速层或低速度储层,速度低至4 600 m/s左右时可以造成第二类的特殊反射(见后面图3(b2)),图3(c2))与异常反射剖面结果相一致(见后面图3(a))。但目前储层发育情况统计表明,川东地区石炭系大多数含油气储层的速度降低没有这么大,只有极少孔隙性非常好的储层速度降到5 000 m/s以下,如雷音铺的雷15井,有18 m气层,孔隙度为9%,速度为4 838 m/s。因含油气储层的速度大幅

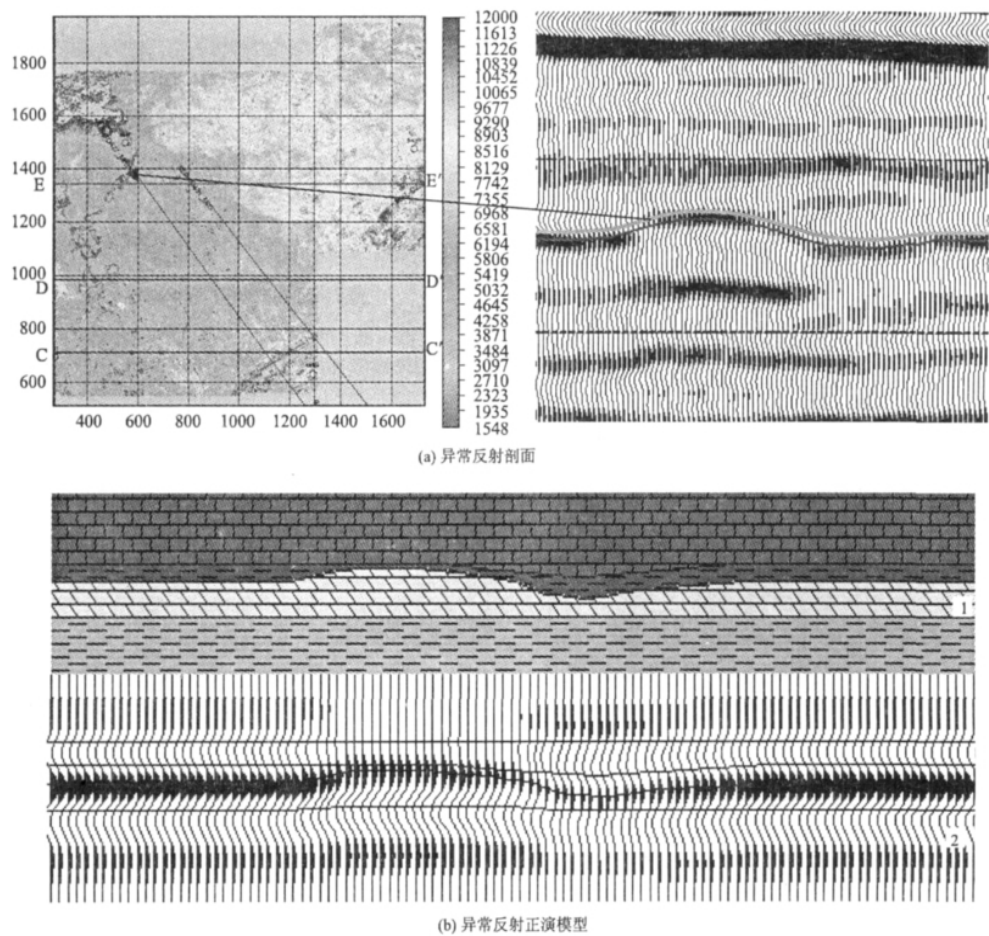


图2 第一类异常反射结构及正演模拟

Fig.2 The 1st reflecting structure and its forward modeling results

度降低,造成该特殊反射异常的几率虽较小,但不
应排除,应引起重视。

此外,除了石炭系顶部被溶蚀的情况外,暗河
发育也可以造成该类现象。正演模型结果显示:①
暗河发育在黄龙组上部时,会引起同相轴下拉,暗
河深度越大,下拉越明显;②暗河发育在黄龙组中
部时,会出现轻微下拉及振幅减弱;③暗河发育在
黄龙组下部,仅会出现振幅减弱的现象。在此处,
暗河取速度 4 600 m/s,有被水溶岩墙充填或半充
填的可能,如果是半充填,则是较好的溶洞型储层
(见下页图 3(d))。

2.3 第三类特殊反射

此类特殊反射同相轴明显下拉,但与两侧同相
轴仍然相连。同时,在下拉同相轴的上部,出现中
振幅~弱振幅反射,下部反射振幅减弱(见后面图
4(a))。该反射异常主要位于工区东北部,经分析
认为,其代表了黄龙组内部有较厚低速体发育的
地震反射特征,可能为溶蚀洼地或暗河,内部被低速

度体充填。低速度体可能是未被充填或半充填的
溶洞,也可能是高泥质含量的充填物。正演模型设
计如下:石炭系黄龙组上部为溶蚀洼地,被梁山组
泥岩充填,速度为 4 600 m/s,未充填完全的由栖霞
组灰岩继续充填,下部为速度 4 600 m/s 的较好
储层或水溶岩墙充填(见后面图 4(b1))。模型正
演结果与实际剖面结构较为相似(见后面图
4(b2))。

此外,在第三类特殊反射剖面结构上显示极强
波谷伴随着极强的波峰,及波谷上部的弱振幅波
峰,反映必然存在两个反射界面。根据几何地震学
的理论,当地层厚度为 1/4 波长左右时,地层顶底
面振幅叠加可以获得强振幅。该处时差为 12 ms,
计算出低速体厚度约为 30 m 左右(见后面图
4(c))。因此该反射特征也有可能代表了该地区存
在厚度为 30 m 左右的低速异常地质体。

2.4 第四类特殊反射

此类特殊反射表现为弱振幅近空白反射或弱

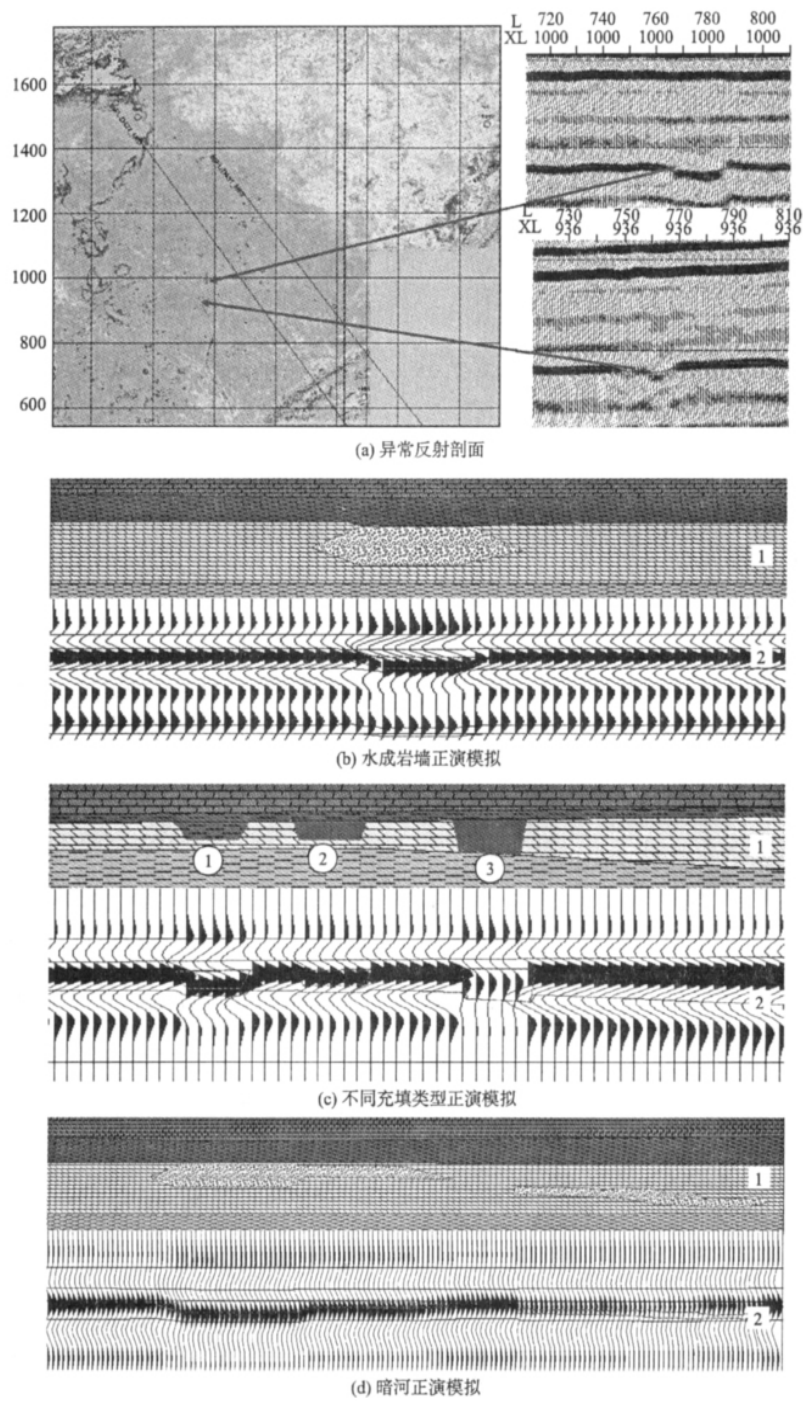


图3 第二类异常反射剖面及正演模拟

Fig. 3 The 2nd reflecting structure and its forward modeling results

波谷反射(见后面图5(a)),主要分布在工区西北角。根据沉积背景及特征,认为该类特殊反射可能代表了黄龙组地层较薄的一种地震波反射响应。并预测黄龙组厚度在7 m~9 m以下,据此设计黄龙组楔形模型(见后面图5(b1)),正演结果反映了与特殊反射结构相类似的剖面特征(见后面图5(b2)),因此,该类反射代表了黄龙组地层变薄,

在7 m~9 m 以下的地震反射特征。

3 结论与探讨

(1) 根据石炭系黄龙组地震剖面的解释,识别出四种特殊的地震反射异常结构:第一类特殊反射波峰波谷均表现为中振幅~弱振幅,解释为岩溶高

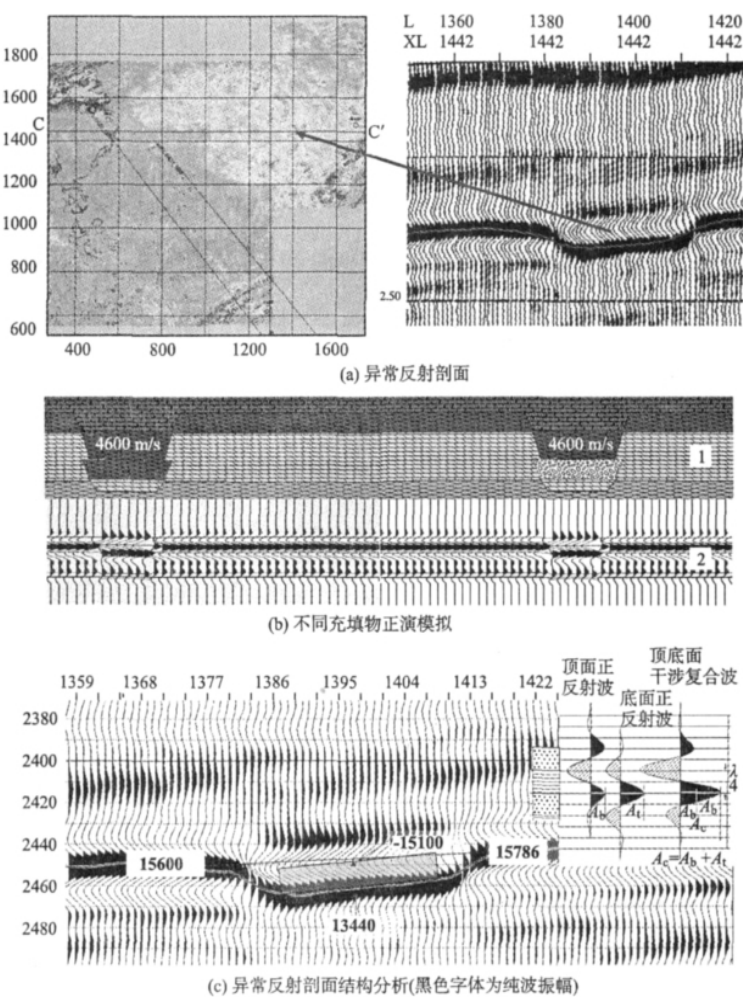


图4 第三类异常反射剖面、正演模拟及结构分析

Fig. 4 The 3rd reflecting structure , forward modeling results and structural analysis

地的峰丛与浅洼; 第二类异常反射下拉波峰振幅有强有弱,但其上部波谷呈现强~中等反射,可能为泥质充填,也可能为未被充填的溶洞或孔隙性非常高的储层; 第三类异常反射同相轴明显下拉,同时在下拉同相轴的上部,出现中振幅~弱振幅反射、下部反射振幅减弱,可能为高泥质含量充填物,也可能为低速度、未被完全充填的缝洞体; 第四类异常反射为弱振幅近空白反射或弱波谷反射,解释为地层减薄,厚度在7 m~9 m以下。

(2) 四种特殊反射异常具有明显的分区性。第二类、第三类反射异常岩溶性储层发育的可能性较大,代表了该区与古岩溶作用有关的新一类油气储层类型,是该区具有潜在勘探价值的储层发育区。

(3) 结合岩溶单元发育的理论、石炭系厚度与古构造研究,不仅有助于地震剖面异常反射的解

释,同时对恢复受构造运动影响的石炭系黄龙组沉积环境与古地貌精细刻画也具有重要辅助作用,紧密结合可以有效地指导该区油气勘探。

参考文献:

[1] 郑荣才,文华国,周刚,等. 川东—渝北黄龙组碳酸盐岩储层的成岩系统[J]. 石油学报 2010 31(2): 237.

[2] 胡忠贵,郑荣才,文华国,等. 渝东—鄂西地区黄龙组层序—岩相古地理研究[J]. 沉积学报 2010 28(4): 696.

[3] 李忠,雷雪,晏礼. 川东石炭系黄龙组层序地层划分及储层特征分析[J]. 石油物探, 2005 44(1): 39.

[4] 邹才能,徐春春,李伟,等. 川东石炭系大型岩性地层气藏形成条件与勘探方向[J]. 石油学报 2010 31(1): 18.

[5] 四川油气区石油地质志编写组. 中国石油地质志(卷十) [M]. 北京: 石油工业出版社, 1989.

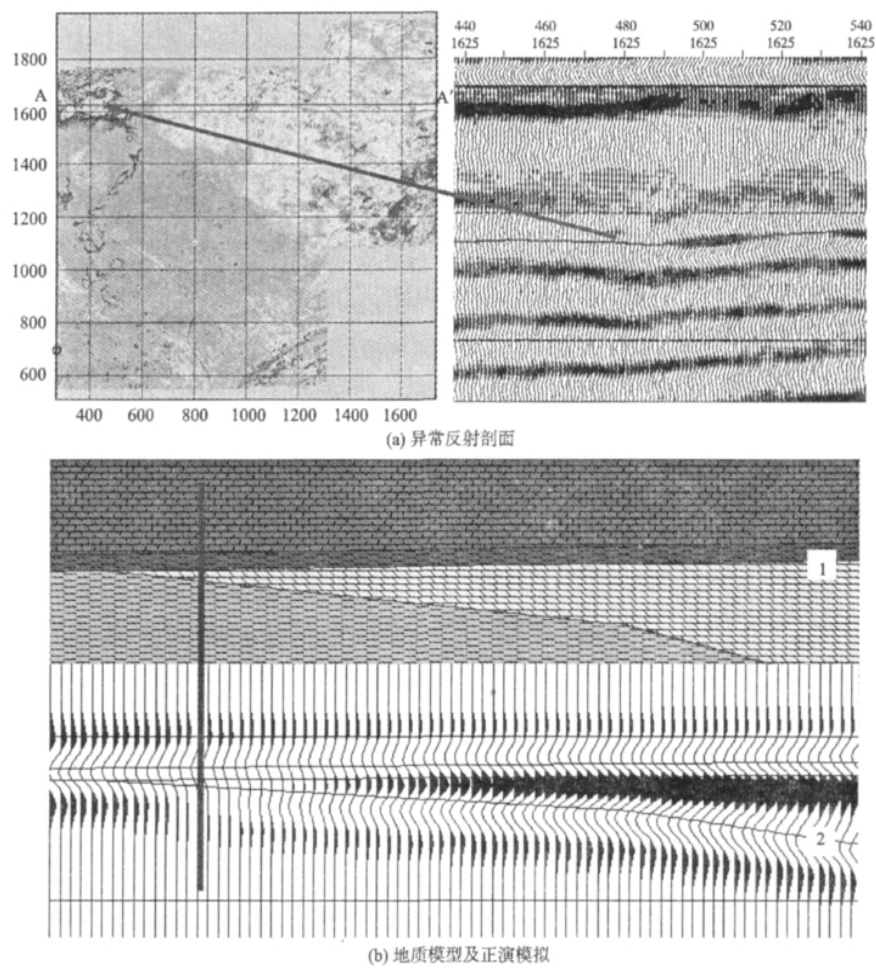


图5 第四类异常反射剖面及正演模拟

Fig. 5 The 4th reflecting structure and its forward modeling results

[6] 李忠权,冉隆辉,陈更生,等. 川东高陡构造成因地质模式与含气性分析[J]. 成都理工学院学报, 2002, 29(6): 605.

[7] 陈宗清. 川东石炭系地层—构造复合圈闭气藏的预测、分类和评价[J]. 石油学报, 2000, 21(3): 25.

[8] 刘树根,王允诚,张高信,等. 川东大池干井高陡构造的形成机制及其对石炭系储层的影响[J]. 成都理工学院学报, 1994, 21(3): 102.

[9] 刘树根,王允诚,张高信,等. 川东大池干井构造带上石炭统构造储层研究[J]. 中国海上油气(地质), 1994, 8(1): 37.

[10] 陈宗清. 川东石炭系气藏分布规律与深化勘探[J]. 中国海上油气(地质), 2001, 15(3): 182.

[11] JAMES N J, CHOQUETTE P W. 古岩溶与油气储层[M]. 成都地质学院沉积所和长庆勘探开发研究院合译. 成都: 成都科技大学出版社, 1991.

[12] 文华国,郑荣才,沈忠民,等. 四川盆地东部黄龙组古岩溶地貌研究[J]. 地质评论, 2009, 55(6): 816.

[13] 胡忠贵,郑荣才,文华国,等. 川东邻水—渝北地区石炭系黄龙组白云岩成因[J]. 岩石学报, 2008, 24(6): 1369.

作者简介:施泽进(1965-),男,博士,教授,博士生导师,现主要从事石油地质的教学与科研工作。

ABSTRACTS

CHARACTERISTICS AND IMPLICATIONS OF THE SEISMIC ABNORMAL RESPONSES OF CARBONIFEROUS HUANGLONG FORMATION IN FULING AREA, SOUTHEASTERN SICHUAN BASIN

SHI Ze-jin^{1,2}, XIA Wen-qian², WANG Chang-cheng², et al. (1. State Key Laboratory of Oil and Gas Reservoir Geology and Exploration, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China; 2. College of energy resources, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China). *COMPUTING TECHNIQUES FOR GEOPHYSICAL AND GEOCHEMICAL EXPLORATION*, 2011, 33(3): 231

Fuling area is located in southeastern Sichuan basin. Through carefully seismic interpretation of Huanglong formation of carboniferous in Fuling area, there are four typical seismic responses in reflecting structure as follows: ① The amplitude of both peak and trough of seismic are medium to weak. ② Peak amplitude with phase axis pulled down present as strong or weak, and above trough amplitude is high to medium. ③ Seismic phase axis is pulled down clear and the amplitude is medium to weak, and amplitude is weakens lower with the seismic phase axis pulled down clear. ④ Seismic amplitude is weak and close to nil trace. Based on the theoretical models of karst units developing and sedimentary characteristics in this area, the four seismic responses in reflecting structure which we mentioned above probably means four different geologic origins, which respectively represented: A. developing of karst positive topography and karst negative topography; B. developing karst caves that are filled by mud completely or certain mud or developing high - porosity reservoirs; C. developing fissures and caves that are filled by much mud or not entirely filled that performances low speed in seismic profiles; D. identifier of Huanglong formation which is deposited seven to nine meters or the sediment thickness is less than that. Meanwhile, the seismic forward modeling for the four geologic origins is matching for the four typical seismic responses in reflecting structure well. All those study results based on specific structure in seismic profiles can be used to predict the new type of reservoirs and effective to search for new alternative exploration zones for more gas discovery in Fuling area.

Key words: seismic reflecting structure; seismic response; seismic forward modeling, Huanglong formation, southeast region of Sichuan basin

SEISMIC SPACE INSTANTANEOUS PARAMETER ANALYSIS AND ITS APPLICATION

HE Xi-lei^{1,2}, HUANG De-ji², WEN Xiao-tao², et al. (1. State Key Lab. of Oil and Gas Reservoir Geology and Exploration, Chengdu University of Technology,

Chengdu 610059, China; 2. College of Geophysics, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China). *COMPUTING TECHNIQUES FOR GEOPHYSICAL AND GEOCHEMICAL EXPLORATION*, 2011, 33(3): 237

As a comparison to conventional instantaneous parameter analysis based on complex trace analysis in time domain, a new method, space-instantaneous parameter analysis (SIPA), is proposed in this paper, which changes the harmful singular values in seismic complex traces into effective information and is more useful in lateral prediction of reservoir. This method recombines seismic data along horizon to form varying reflection amplitude signal traces which are used as real traces to process space instantaneous complex trace analysis, and calculate out the space instantaneous parameters. The change points of lateral amplitude are just these singular points which are not satisfied with the summary of analysis conditions and characters, the singular point corresponding to the singular value are just correspond to geological structure catastrophe points along the horizontal layer, the relative change ratio of instantaneous phase and wave-number along the horizon is greater than that of amplitude. Consequently, SIPA can effectively detect fault, crack, fracture - rich zone, channel, fringe and other lithological pinch - out points. The results of numerical modeling and fractured reservoir prediction with real seismic data in Y area show that the above conclusion is correct.

Key words: space-instantaneous parameters; complex trace analysis; reservoir prediction; fracture-rich zone

STRUCTURE MAPPING WITH TRANSVERSELY VARIABLE 3D SEISMIC VELOCITY MODEL IN ERLIAN BASIN

JIA Yi-rong^{1,2}, HE Zhen-hua¹, SHI Lan-ting², et al. (1. Chengdu University of Technology, Chengdu Sichuan 610059, China; 2. Northwest Geology Institute, CNPC, Lanzhou Gansu 730020, China). *COMPUTING TECHNIQUES FOR GEOPHYSICAL AND GEOCHEMICAL EXPLORATION*, 2011, 33(3): 243

Depressions in Erlian Basin are long and narrow with complex faults and structures. Challenges for correct structure mapping include complex structure imaging and sharply lateral variable velocity analysis. Traditional methods by using stack velocity spectrum do not meet the demands of high precision seismic interpretations. The improved structure mapping in this paper involves the following steps: (1) creating velocity model by stacking velocity spectrum based on seismic pre-stack time migration data; (2) calibration of the velocity model with well log and seismic data and building up a transversely variable 3D seismic velocity