

川东建南地区石炭系地震储层预测

秦军, 陈晓宇, 刘超, 易晶晶

(中国石化江汉油田勘探开发研究院)

摘要 川东建南地区上石炭统黄龙组残余厚度一般在0~30m,岩性以白云岩、石灰岩和角砾岩为主,且以前两类的储集物性较好。白云岩类是工区石炭系最重要的储集层,在白云岩类储层中又以针孔白云岩最好;石灰岩类储层中以角砾状灰岩较好。利用三维地震资料所作的属性定量分析、波阻抗反演及厚度预测等储层预测工作表明,黄龙组储层较围岩具有高阻抗的特点,其中物性最好的针孔白云岩表现为高阻抗背景下的低阻抗特征,物性较差的角砾白云岩表现为高阻抗特征。储层的测井响应特征及地震响应特征分析发现,当地震剖面存在双强相位(双轨特征)时,黄龙组地层存在,而当地震剖面呈现单轨特征时,则黄龙组地层不存在;地震振幅强弱与黄龙组厚度密切相关。利用地震属性及波阻抗反演技术同时预测储层厚度,其结果与实钻结果相当吻合。

关键词 碳酸盐岩储层;白云岩储层;地震特征;储层预测;黄龙组;石炭系;建南地区

中图分类号: TE112.23

文献标识码: A

四川盆地东部上石炭统黄龙组自1977年钻获工业气流以来,已成为四川盆地最重要的天然气产层之一^[1]。黄龙组经过三十多年的研究已取得了丰硕的成果^[2-6],然而如何利用新的三维地震资料来预测有利储集体的展布等研究工作仍显薄弱^[7-10]。笔者已在川东建南地区开展过对三叠系飞仙关组的地震储层预测^[11],并取得了良好的效果。本文是在此研究基础上进一步开展的对上石炭统黄龙组储层的预测,以期进一步拓宽本区的勘探领域。

1 研究区背景

1.1 构造背景

建南地区位于四川盆地东缘,构造上处于川东高陡褶皱带的中东部,本次研究范围自西向东横跨方斗山复背斜、石柱复向斜、齐岳山复背斜以及利川复向斜(跨出了盆地边界)等次级构造单元,总面积约10 000 km²(图1)^[11]。2007年在研究区部署的三维地震917 km²(图1,三维工区),测网密度25 m×25 m。主体位于石柱复向斜,东西两侧分别跨入齐岳山复背斜和方斗山复背斜。

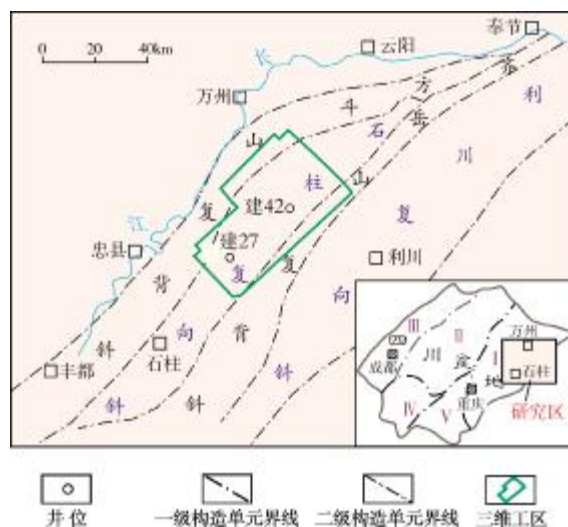


图1 建南地区构造及研究区位置^[11]

I 川东高陡褶皱带; II 川中平缓褶皱带; III 川西低缓褶皱带;
IV 川西南低缓褶皱带; V 川南低陡褶皱带

1.2 储层沉积相特征

研究区内黄龙组是在东高西低、南高北低的古地理格局下由华南海海水广泛侵入而沉积的一套碳酸盐岩地层。自下而上,陆源物质含量逐渐减少,其

收稿日期: 2011-06-25

秦军: 1981生, 硕士, 工程师。2004年毕业于长江大学, 2007年于长江大学地球物理与石油资源学院地球探测与信息技术专业硕士研究生毕业, 现从事储层预测与地震解释工作。通讯地址: 430223 湖北省武汉市东湖高新区大学园路18号; 电话: (027)52307252

沉积环境由潮上→潮间→潮下逐渐变化,反映出海侵一直持续扩大;横向上由东向西、由南向北,陆源碎屑成分显著减少,碳酸盐成分则明显增多,表明黄龙期海水是由西向东、由北向南逐渐推进的。黄龙期区内主体应为局限海台地潮间坪沉积^①(图 2)。

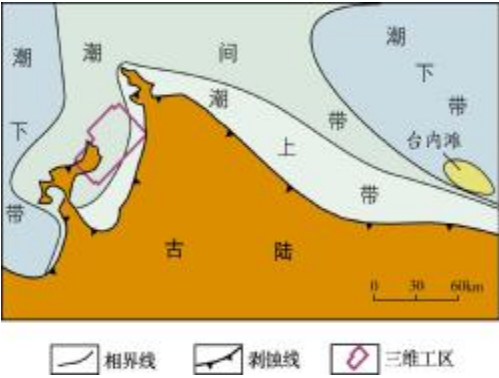


图 2 建南及周缘地区黄龙组沉积相图^①

2 储层基本地质特征

建南地区石炭系主要包括上统黄龙组(C_{2h})和下统和洲组(C_{1h})(图 3)。黄龙组在晚石炭世末期曾遭受云南运动强烈的古岩溶作用(风化剥蚀),区内残余厚度一般在 0~30 m,岩性为角砾状白云岩与白云岩互层,顶部角砾状白云岩中见针孔。下石炭统和洲组与下伏志留系呈假整合接触,其岩性为致密石英砂岩,不具备储集性能。钻井资料及野外剖面观察资料均证实建南地区石炭系储层主要集中在黄龙组,且储层的厚薄主要取决于黄龙组的地层残余厚度(图 4)。例如三维工区东北部黄龙组残余厚度最大 25 m 左右,是储层发育的相对有利区,并且已经发现工业性气藏,如建 28、建 34 井区;工区西南部由于强烈的剥蚀作用影响,致使大部分地区缺失了黄龙组,造成了石炭系勘探的失利,如建 27、建 47 井。

2.1 黄龙组储集物性较好

总的来讲工区内黄龙组的储集物性中等—好,孔隙度平均 3.8%,渗透率平均 $0.69 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,自东向西逐渐变好。通过钻井及地表露头勾绘出孔隙度平面分布图(图 5)^①,其中东部靠近剥蚀区

边缘干溪口—石狮子地区储层孔隙度低,一般小于 2%,在西南部丰都一带平均孔隙度可达 6%~7%。

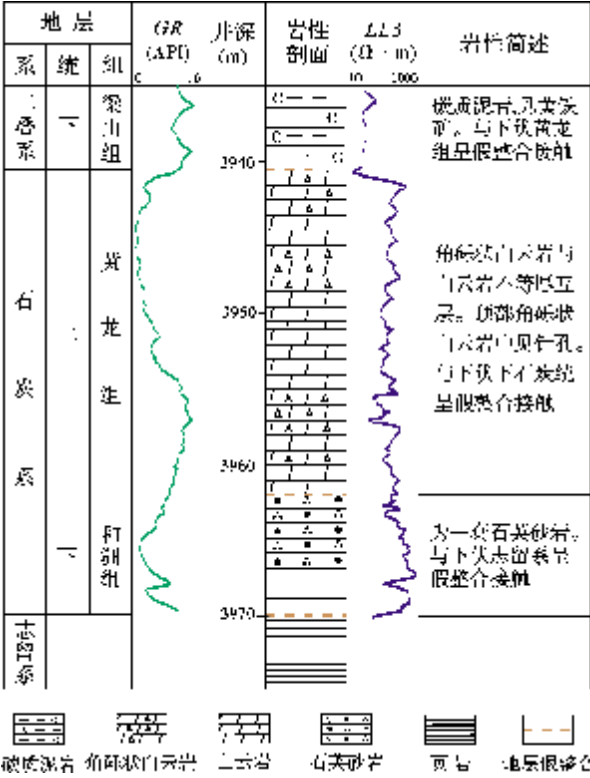


图 3 建南地区石炭系综合柱状图

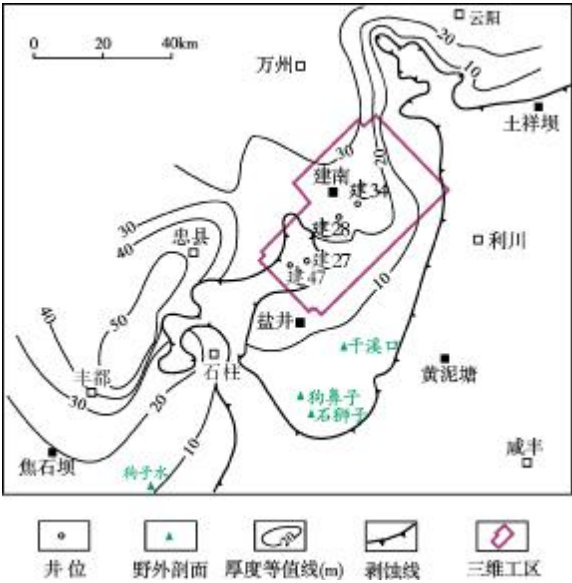


图 4 建南地区黄龙组残余厚度分布图

① 方志雄,梁西文,张柏桥,等. 中扬子西部震旦—三叠系储层及控制因素研究[R]. 江汉油田勘探开发研究院, 2008:65.

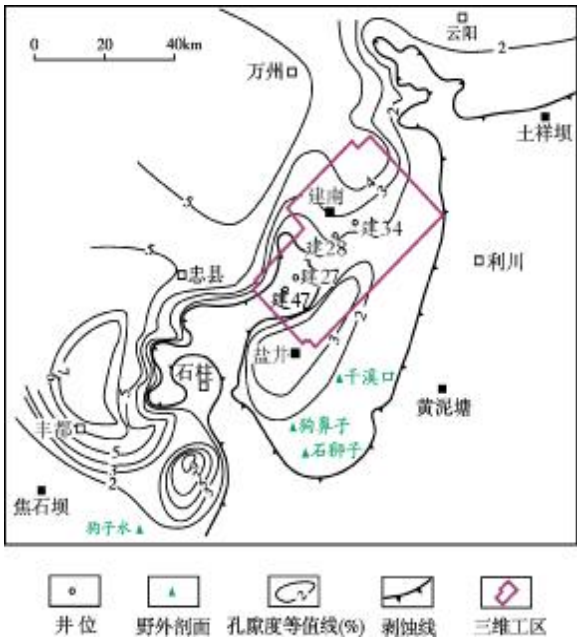


图5 石柱复向斜石炭系黄龙组储层孔隙度等值线图^①
据钻井和地表露头资料勾绘

2.2 黄龙组储层以白云岩类物性最好

建南地区石炭系黄龙组储层按岩石类型主要分为白云岩、石灰岩和角砾岩三大类,前两类的储集物性较好。白云岩类包括针孔白云岩、结晶白云岩、角砾白云岩、颗粒白云岩,石灰岩类包括角砾灰岩、晶粒灰岩及颗粒灰岩。大量岩心的实测资料表明,白云岩类的物性又明显好于石灰岩类,前者的平均孔隙度大于4%,最大孔隙度可达21.11%,后者的孔隙度一般小于1.6%(表1)。

通过对比上述7种储集岩的物性数据发现,白

云岩类储集物性比石灰岩类要好得多。在白云岩类中又以针孔白云岩储集物性最好,其次是结晶白云岩、角砾白云岩;石灰岩类储层中以角砾状灰岩相对较好,结晶灰岩和颗粒灰岩均比较差。

3 储层地震预测

3.1 岩石物理分析

建南地区黄龙组的岩石地球物理特性以中低自然伽马值、中高电阻率值、高速度、高密度等为特征,而其上、下相邻地层则均以高伽马、低电阻、低速度、低密度为特征,因此黄龙组储层较围岩具有高阻抗的特点。但在黄龙组储层中物性最好的针孔白云岩却表现为高阻抗背景下的低阻抗特征,而物性较差的角砾白云岩则表现为高阻抗特征。

3.2 地震响应特征

通过地震合成记录(图6)发现,TP1(相位1)对应二叠系下统梁山组的底,石炭系黄龙组位于相位1下方10 ms的位置,当黄龙组存在时,地震剖面上表现为典型的“双轨”特征,即相位1和相位2同时具有强振幅特点。图7是JS1(建深1)井的一维去储层实验,原始储层厚度25 m(图7a),将黄龙组储层减薄20 m(图7b),也就是所剩储层厚度仅为5 m,发现相位2明显变弱;若将黄龙组储层加厚10 m(图7c),即储层厚度达35 m,则发现相位2明显变强。当黄龙组不存在时,地震剖面上表现为“单轨”特征,相位1为强振幅,而相位2为弱振幅。

表1 川东建南地区石炭系黄龙组储集岩物性统计

岩 性		孔隙度		渗透率	
		范围值/平均值 (%)	样品数	范围值/平均值 ($\times 10^{-3} \mu\text{m}^2$)	样品数
白云岩类	针孔白云岩	(1.2~21.11)/7.15	112	(0.004~8.29)/0.8	65
	结晶白云岩	(0.19~18.5)/4.16	222	(0.004~7.37)/0.88	70
	角砾白云岩	(1.66~10.66)/3.71	112	(0.002~7.08)/0.79	50
	颗粒白云岩	(0.29~6.91)/2.38	155	(0.012~9.78)/1.05	45
合 计		(0.19~21.11)/4.35	601	(0.002~9.78)/0.88	230
石灰岩类	角砾灰岩	(0.67~5.9)/1.59	21	(0.007~0.67)/0.085	15
	晶粒灰岩	(0.71~1.6)/1.3	15	(0.007~0.63)/0.13	8
	颗粒灰岩	(0.3~1.6)/0.92	48	(0.002~2.5)/0.11	48
合 计		(0.3~5.9)/1.27	84	(0.002~2.5)/0.108	71

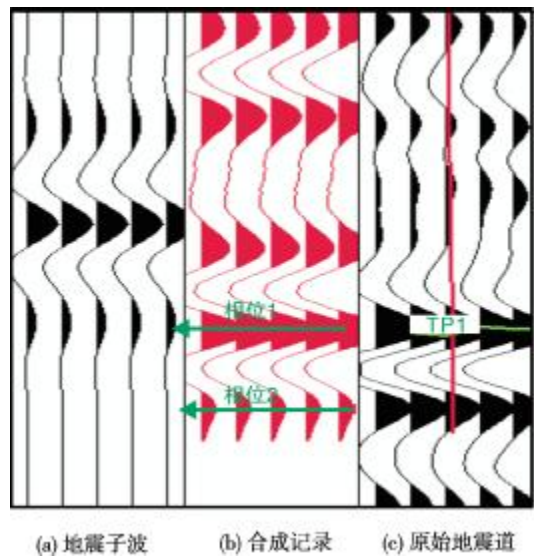


图6 建南地区 JS1 井合成记录

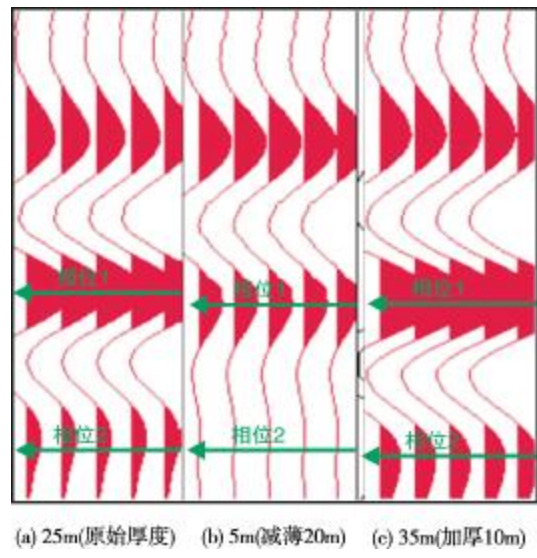


图7 建南地区 JS1 井一维去储层实验

3.3 地震属性分析

通过以上分析,工区内相位 2 的振幅强弱可以反映黄龙组储层的有无。图 8 为相位 2 最大振幅属性,其中红色区域代表黄龙组储层发育区,预测结果与实钻情况基本一致,如 JS1、J42 井黄龙组储

层均发育,储层呈现连片分布的特点。通过统计储层厚度与井点处黄龙组地震均方根振幅的关系,发现两者之间有很好的相关性(图 9)。利用此相关关系将地震属性转化为定量的储层厚度(图 10),通过对比,可以看出预测厚度与实钻情况基本一致(表 2)。

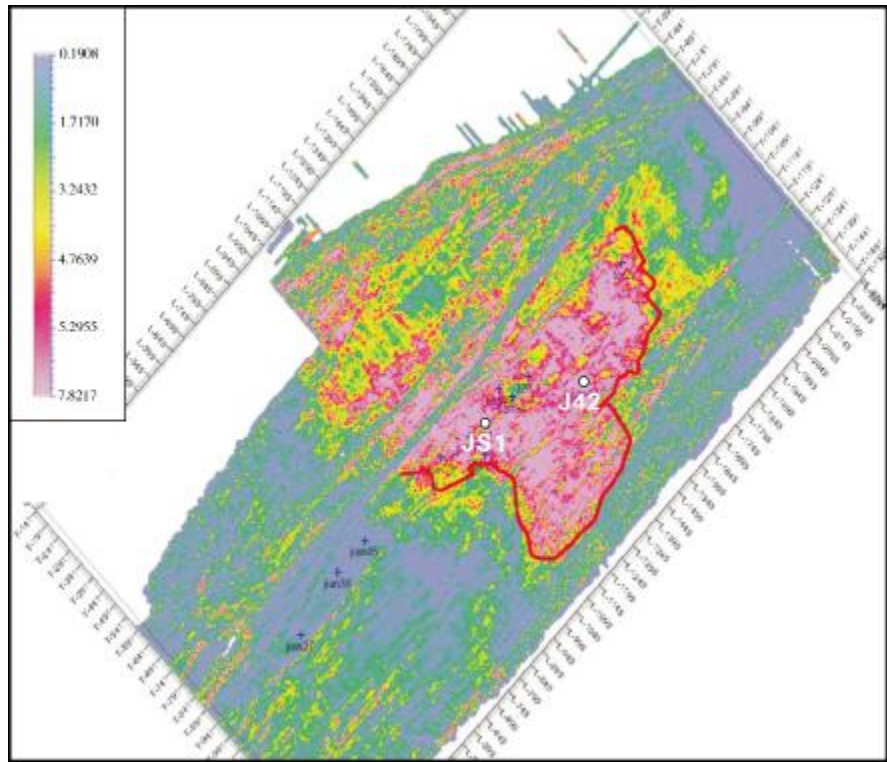


图8 相位 2 最大振幅属性
图中的红线为振幅属性较好分布区的包络线

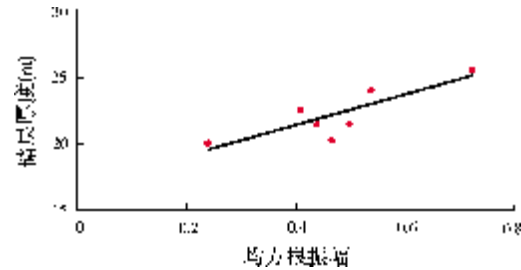


图 9 振幅与储层厚度交会图

3.4 波阻抗反演及储层厚度预测

前已述及,石炭系储层较围岩具有高阻抗特点,若储层物性变好,阻抗则会变低。图 11 为过 J42 井波阻抗反演剖面,通过钻遇储层标定,可以看出黄龙组储层较围岩具有高阻抗特点,波阻抗变化反映了储层横向变化,其中淡蓝色低阻抗区,可能是物性更好的针孔白云岩储层区。

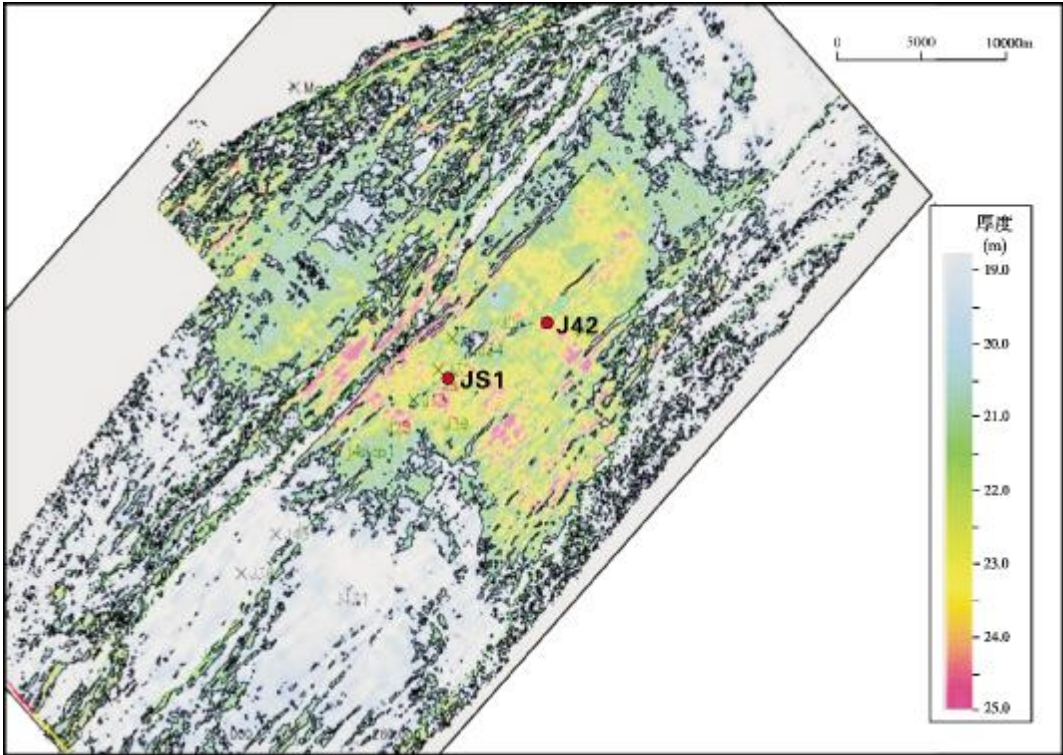


图 10 研究区储层厚度预测图

表 2 研究区石炭系储层的实钻与预测厚度对比

井 号	钻 井	属性预测		阻抗预测	
	厚度(m)	厚度(m)	误差(m)	厚度(m)	误差(m)
J26-1*	20	19	-1	22	2
J34	28.5	23	-5.5	22	-6.5
J49	21.5	22	0.5	20	-1.5
JS1*	22.5	25	2.5	24	1.5
J13	20	25	5	23	3
J28	21.5	20	0.5	23	1.5
J39	24	25	1	23	1
J42	25.5	27	1.5	25	-0.5

* J26-1 和 JS1 两口井是预测在前、钻井在后,其它各井均为钻井在前、利用地震属性计算预测在后。

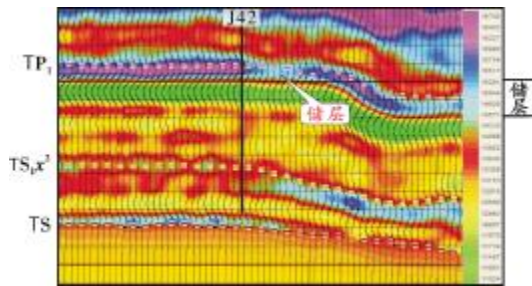


图 11 过 J42 井波阻抗反演剖面
TP₁ 下二叠统底; TS_{x2} 下志留统小河坝组二段底; TS 志留系底

利用这种高波阻抗特点,通过波阻抗反演数据体提取黄龙组波阻抗平面图(图 12),从该图可以看出,在工区中部紫色区具有明显的高阻抗特点,且高阻抗区连片分布,JS1、J42 井都位于高阻抗区,预测图与实钻情况(表 2)相吻合。利用波阻抗反演结果预测黄龙组有利储层厚度如图 13 所示,可以看出工区中部储层连片发育,如 JS1 井周缘,储层平均厚度超过 20m,在构造高部位的 J13、J28 井均获得工业气流。将利用属性定量预测的储层厚度与波阻抗反

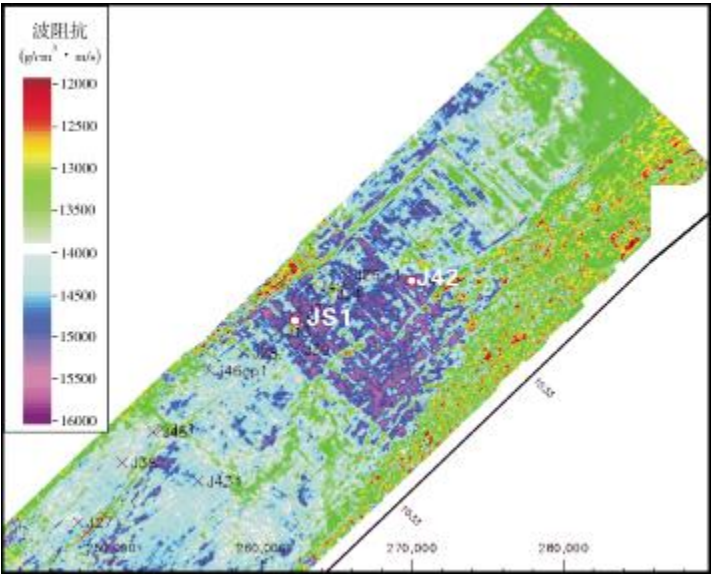


图 12 建南地区黄龙组波阻抗平面图

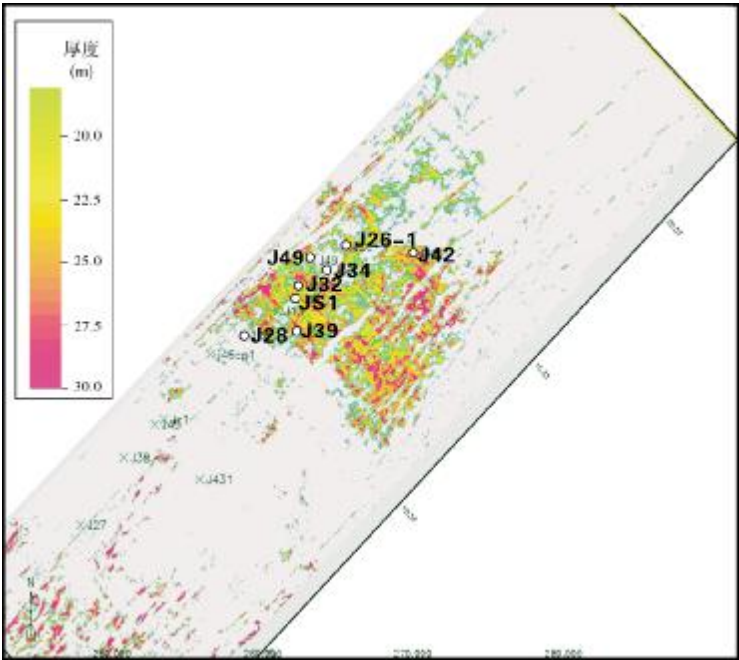


图 13 利用波阻抗预测储层厚度分布图

演计算预测的储层厚度与实钻情况加以对比(表2),可以看出,两种预测方法所得结果基本和实钻情况误差不大。研究区储层厚度一般在20~25 m,误差大都小于2 m,在统计的8口井中,有5口井的误差小于等于2 m,两口井比较偏大,误差达到了5 m和6.5 m。因此总体上看,用上述两种方法做储层定量计算对川东石炭系储层厚度预测具有较好效果。

4 讨论

川东建南地区石炭系黄龙组储层物性好、分布范围广,是研究区内的重要储层。如何利用多种方法预测储层厚度,是今后勘探的重点。本文通过一维正演模型寻找储层的敏感性地震参数,并将敏感性地震参数与黄龙组储层厚度建立了定量关系,最终预测出黄龙组分布范围。同时在此基础上利用属性技术和波阻抗反演技术预测储层厚度,这两种方法的预测结果基本相同,并与实际钻井结果基本一致。因此可以认为多方法定量预测储层分布是比较有效的,这是今后储层预测发展的一个方向,其预测结果能够作为勘探部署的依据。

参考文献

- [1] 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):182-186.
- [2] 郭一华. 川东地区石炭系储层成岩作用与天然气成藏规律[J]. 西南石油学院学报, 1994, 16(1):1-10.
- [3] 郑荣才, 李德敏, 张哨楠. 川东黄龙组天然气储层的层序地层学研究[J]. 沉积学报, 1995, 13(增刊):1-9.
- [4] 郑荣才, 张哨楠, 李德敏. 川东黄龙组角砾岩成因及其研究意义[J]. 成都理工学院学报, 1996, 23(1):8-18.
- [5] 郑荣才, 彭军, 高红灿. 渝东黄龙组碳酸盐岩储层的古岩溶特征和岩溶旋回[J]. 地质地球化学, 2003, 31(1): 28-35.
- [6] 郑荣才, 胡忠贵, 郑超, 等. 渝北—川东地区黄龙组古岩溶储层稳定同位素地球化学特征[J]. 地学前缘, 2008, 15(6): 303-311.
- [7] 王一刚, 文应初, 刘志坚. 川东石炭系碳酸盐岩储层孔隙演化中的古岩溶和埋藏溶解作用[J]. 天然气工业, 1996, 16(6): 18-24.
- [8] 李淳. 川东地区上石炭统碳酸盐岩成岩作用[J]. 石油大学学报:自然科学版, 1998, 22(5):19-22.
- [9] 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):1369-1378.
- [10] 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]. 地质论评, 2009, 55(6):816-827.
- [11] 秦军, 葛兰, 陈玉明, 等. 川东建南地区飞仙关组地震储层预测[J]. 海相油气地质, 2011, 16(2):9-17.

编辑:吴厚松

Reservoir Prediction of Carboniferous Dolostone Strata in Jiannan Area in the Eastern Part of Sichuan Basin

Qin Jun, Chen Xiaoyu, Liu Chao, Yi Jingjing

Abstract: The Upper Carboniferous Huanglong Formation is generally up 0~30m in residual thickness in Jiannan area, the eastern part of Sichuan Basin. Dolostone, limestone and breccia are common in Huanglong Formation, among which the formers are of better reservoir property. The dolostone comprises the most important reservoir in Carboniferous strata. Pinhole dolostone is of the best reservoir property in the dolostone reservoir while brecciated limestone is good in limestone reservoir. Based on the attribute quantitative analysis, wave impedance inversion and thickness prediction from 3-D seismic data, it is indicated that the Upper Carboniferous Huanglong reservoir rock is characterized by higher impedance than its wall rock. In the Huanglong reservoir, the pinhole dolostone is characterized by low impedance under the background of high impedance while the breccia dolostone shows high impedance. The analysis of log and seismic response characteristics of the reservoir has shown that Huanglong Formation is present when the double strong phase occurs in seismic profiles while Huanglong Formation is not present when the single strong phase occurs, which indicates that seismic intensity is closely relative with the thickness of Huanglong Formation. The result of predicting reservoir thickness by seismic attributes and wave impedance inversion is well accorded with that by drilling.

Key words: Carboniferous; Huanglong Formation; Carbonate reservoir; Dolostone reservoirs; Seismic characteristics; Reservoir prediction; Jiannan Area; Sichuan Basin

Qin Jun; male, Master, Geologic Engineer. Add: Exploration and Development Research Institute, SINOPEC Jiangnan Oilfield Company, 18 Daxueyuan Rd., Donghu, Wuhan, Hubei, 430223, China