

基于地震信息的低井控致密气藏三维地质建模 ——以四川盆地梓潼区块为例

龙永成, 罗鑫, 向江淑, 王刚, 何彦琪, 黄嘉仪

重庆科技大学石油与天然气工程学院, 重庆

收稿日期: 2025年7月1日; 录用日期: 2025年8月1日; 发布日期: 2025年9月26日

摘要

四川盆地中生代砂岩储层作为典型的特低孔渗储层, 是我国近年来致密砂岩气勘探开发研究的焦点。由于梓潼区块尚处于探评初期, 区内井控程度低, 钻井资料少, 且未系统开展三维地质建模。导致无法明确产能主控因素和确定高效开发技术对策, 大大阻碍了气田开发进程。因此, 本文通过测录井、构造、储层属性等资料, 建立构造模型, 并通过地震信息约束建立确定加随机的优势相模型, 再结合孔隙度及AVO属性体建立相控储层孔隙度、渗透率及含气饱和度模型。

关键词

四川盆地, 低井控, 地质信息约束, 三维地质建模

Three-Dimensional Geological Modeling of Low Well Control Tight Gas Reservoirs Based on Seismic Information

—A Case Study of Zitong Block in Sichuan Basin

Yongcheng Long, Xin Luo, Jiangshu Xiang, Gang Wang, Yanqi He, Jiayi Huang

Petroleum Engineering School, Chongqing University of Science & Technology, Chongqing

Received: Jul. 1st, 2025; accepted: Aug. 1st, 2025; published: Sep. 26th, 2025

Abstract

The Mesozoic sandstone reservoirs in the Sichuan Basin, as typical ultra-low porosity reservoirs, have been the focus of research on the exploration and development of tight sandstone gas in China in recent years. As the Zitong block is still in the early stage of exploration and evaluation, the well control degree in the area is low, the drilling data is scarce, and the three-dimensional geological

文章引用: 龙永成, 罗鑫, 向江淑, 王刚, 何彦琪, 黄嘉仪. 基于地震信息的低井控致密气藏三维地质建模[J]. 矿山工程, 2025, 13(5): 1103-1112. DOI: 10.12677/me.2025.135124

modeling has not been systematically carried out. This has led to the inability to clearly identify the main control factors of production capacity and determine the technical countermeasures for efficient development, which has greatly hindered the development process of gas fields. Therefore, in this paper, a structural model is established based on data such as logging and logging, structure, and reservoir properties. A deterministic and random dominant phase model is established through seismic information constraints. Combined with porosity and AVO property bodies, the porosity, permeability, and gas saturation models of phased reservoirs are established.

Keywords

Sichuan Basin, Low Well Control, Geological Information Constraint, Three-Dimensional Geological Modeling

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.
This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).
<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



1. 引言

1.1. 低井控三维地质建模现状

储层基础地质建模通常是基于地质统计学方法，以井点数据为基础，通过地震、地质等约束手段模拟井间的储层分布。针对不同的井网分布和井距大小，模拟时对不同类型资料的依赖程度有所不同，基础资料和约束条件对于模拟结果影响较大。致密砂岩的有利储层受控于沉积相带，在河流相储层中，平面和纵向相变较快，储层非均质性强，加上其特有的地球物理响应特征，简单地依靠单一地质认识或者地震数据作为概率约束建立的地质模型，在稀井网区存在不确定性，具有较大的风险。这就需要使地震数据在建模过程中对低井控区的约束作用更加有效，充分利用测井资料和地震资料分别在垂向和平面上的分辨率优势，发挥地质统计学在模拟过程中对于多学科资料的综合应用能力[1]。

1.2. 研究区概况

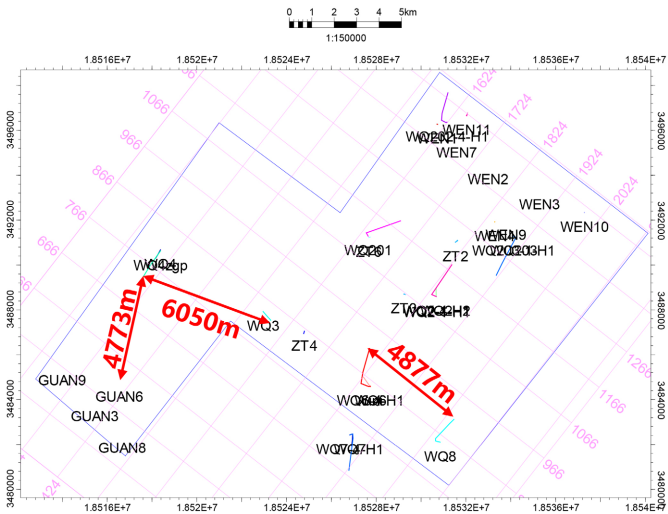


Figure 1. Well spacing distribution map
图 1. 井间距分布图

研究区为梓潼区块的沙溪庙组一段(以下简称沙一段)1号、4号砂组。梓潼区块位于四川省绵阳市境内,区域构造位置属于川北古中拗陷低缓带西南位置,该构造带北邻大巴山断褶带,西靠龙门山断褶带,南接川西中新拗陷低陡带与川中古隆中斜平缓带,东临川东古斜中隆高陡断褶带[2]。梓潼区块处于四川盆地西北部,最高海拔 912 m,最低海拔 413 m,地势东北高,西南低。研究区共有 30 口井,总面积为 249 km²。井间距分布图如图 1。

目前,该区块仍处于勘探开发初期,井资料较少,井控程度低。仅用井间插值方法进行三维地质建模难以准确预测井间属性。勘探初期地震分布范围较广,覆盖全工区。可采用单井 + 井间地震属性反演进行约束,建立低井控高精度三维地质模型。建模流程图如图 2。

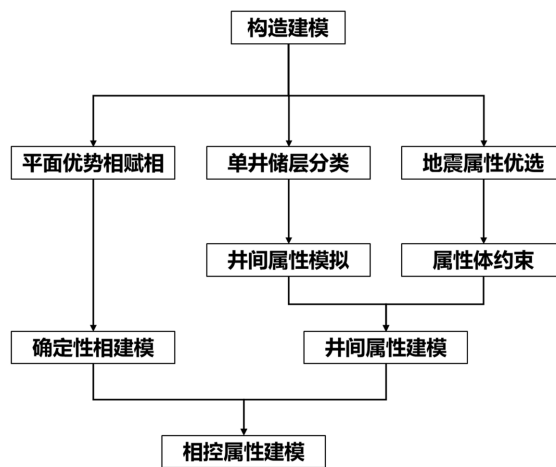


Figure 2. Modeling flowchart
图 2. 建模流程图

2. 构造建模

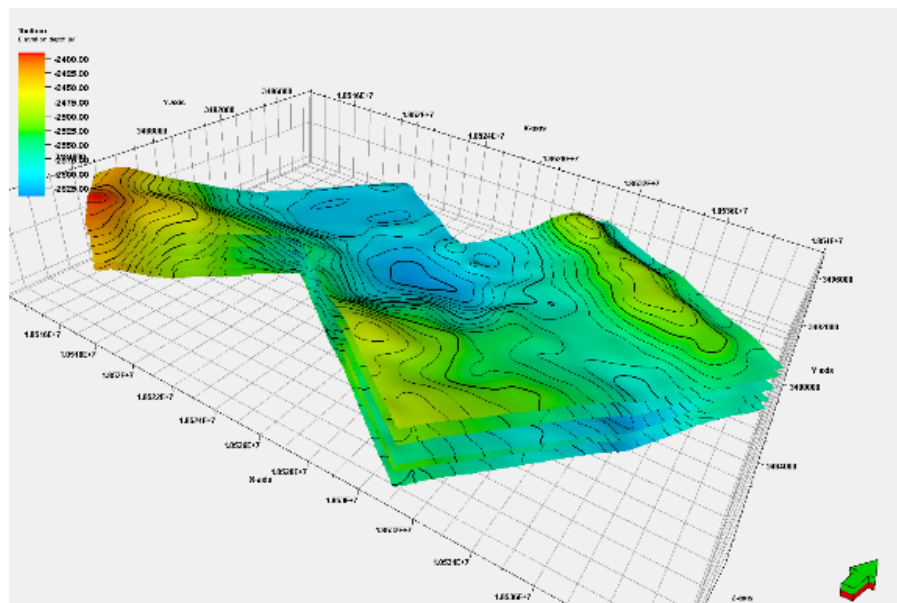


Figure 3. Level model
图 3. 层面模型

为了保证后续岩性相与岩石物性建模能够在准确的地层单元中进行，在对致密气藏沙一段进行构造建模时，对层面的选择及各井的层组划分对比，是按等时地层对比原则进行。根据地层划分和小层对比、沉积模式的研究及各层段沉积特征分析的结果，确定研究区目的层段地质模型的模拟单元[3]。本次建模主要是基于测井资料与地质分层研究成果，构建三维地质构造模型(图 3、图 4)。

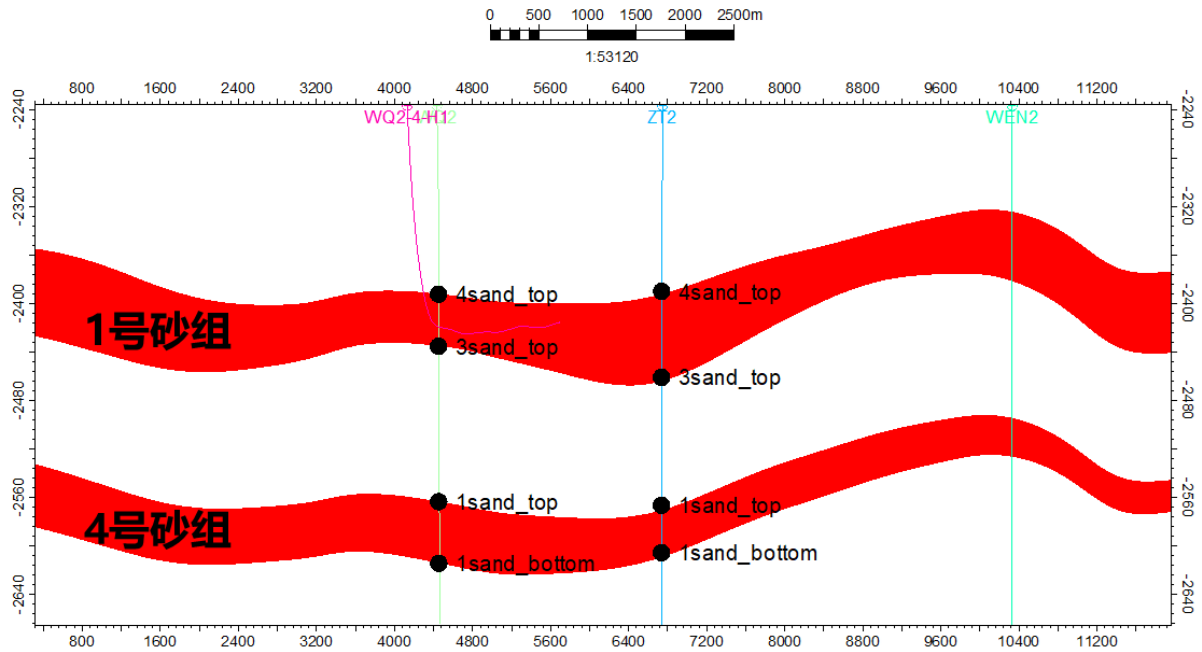


Figure 4. Construction model profile
图 4. 构造模型剖面

3. 优势相建模

选用确定性建模及赋相的方法建立确定性优势相模型，并在构造模型的基础上，进行单井砂体刻画，完成区内单井优势相划分并进行单井优势相粗化，在此基础上，利用变差函数进行井间空间相关性分析，优选合适的拟合属性体，以地震属性体及确定性优势相模型协同约束，建立确定加随机的优势相模型为下步属性模拟的相控提供支持。

3.1. 确定性优势相建模

基于 1 号、4 号砂组砂体展布物性特征及试气试采动态资料(图 5、图 6)，动静结合进行储层分类。I 类物性好，已投产；II 类储层较好，也已试气，物性较好；III 类没有井钻遇，但有含气显示，物性一般。(储层分类依据如表 1。)

Table 1. Reservoir classification basis table
表 1. 储层分类依据表

储层类别	物性	是否试气试采
I 类	好	已投产
II 类	较好	已试气
III 类	一般	未钻遇，但有含气显示

展河道砂体刻画，进而对砂体的厚度及空间展布进行预测。通过各单井预测砂厚与解释砂厚进行比较，发现预测符合率较高(表 2)，均大于 70% (图 7~10)。

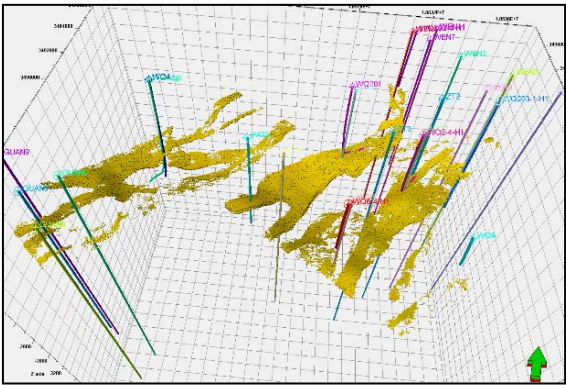


Figure 7. Figure of the longitudinal and transverse wave velocity ratio of sand group No. 4
图 7. 4 砂组纵横波速度比砂体刻画

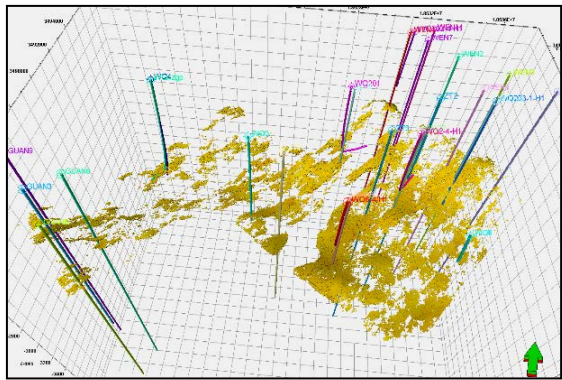


Figure 8. Figure of the longitudinal and transverse wave velocity ratio of sand group No. 1
图 8. 1 砂组纵横波速度比砂体刻画

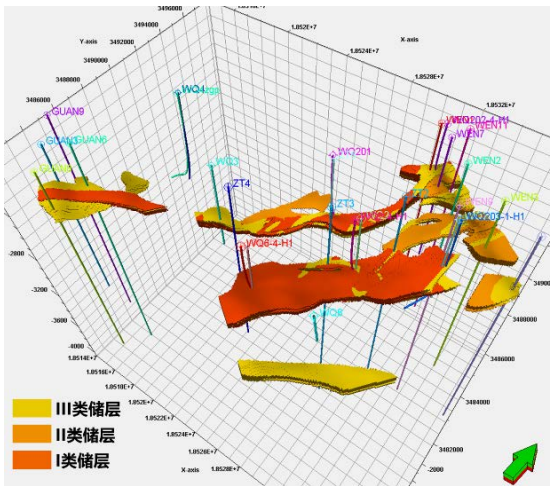


Figure 9. 4 Model of the dominant phase of the sand group
图 9. 4 砂组优势相模型

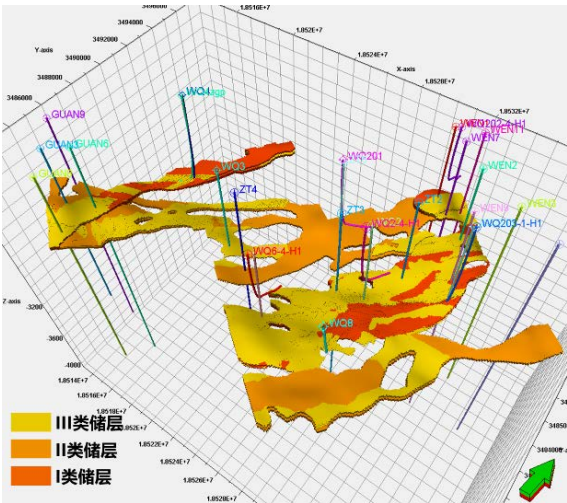


Figure 10. 1 Model of the dominant phase of the sand group
图 10. 1 砂组优势相模型

Table 2. Statistical table of compliance rate of predicted thickness of sand layer
表 2. 砂层预测厚度符合率统计表

井名	砂组	砂厚(m)	预测砂厚(m)	符合率	砂组	砂厚(m)	预测砂厚(m)	符合率
WEN1	1	22.43	18.75	83.6%	4	74.22	61.75	83.2%
WEN11	1	7.5	6.62	88.3%	4	22.17	17.14	77.3%
WEN7	1	14.24	12.76	89.6%	4	24.21	20.46	84.5%
ZT2	1	32.24	26.15	81.1%	4	28.41	25.09	88.3%
WEN4	1	22.19	19.42	87.5%	4	23	18.45	80.2%
WEN9	1	41.08	30.69	74.7%	4	64.61	48.52	75.1%
WEN10	1	7.91	7.03	88.9%	4	9.08	7.89	86.9%
ZT3	1	27.79	20.93	75.3%	4	11.05	8.17	73.9%
GUAN3	1	1.24	1.04	84.2%	4	15.06	11.70	77.7%
GUAN6	1	31.28	22.74	72.7%	4	15.26	13.61	89.2%
GUAN8	1	31.6	24.36	77.1%	4	0	0.00	86.4%
WQ3	1	4.35	3.49	80.3%	4	48.35	41.63	86.1%
WQ6	1	29.7	23.34	78.6%	4	42.54	33.18	78%
WQ2	1	33.03	29.89	90.5%	4	34.44	27.52	79.9%
WQ203	1	34.12	25.21	73.9%	4	48.09	39.19	81.5%
WQ4	1	23.7	15.24	64.3%	4	17.6	14.96	85%
平均				81.37%				

4. 属性建模

为了评价储层的三维空间非均质性和含油气性质，需要建立属性模型。气藏属性模型包括砂体厚度模型、孔隙度模型和渗透率模型等气藏物性模型及含气(水)饱和度等流体性质模型。由于研究区井距较大，因此利用地震属性体结合优势相模型协同约束井间模拟[4]，建立精确属性模型。

采用确定与随机相结合的方法，以优势储层模型为约束，并采用孔隙度、AVO 等属性体协同约束(图 11、图 12)。

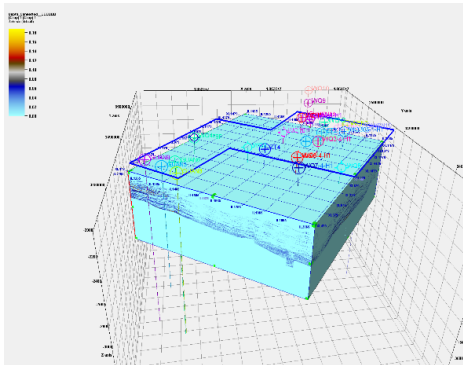


Figure 11. Porosity property body
图 11. 孔隙度属性体

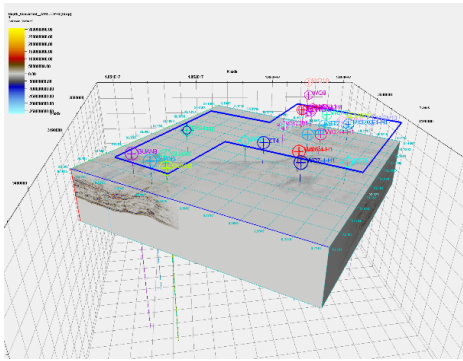


Figure 12. AVO attribute body
图 12. AVO 属性体

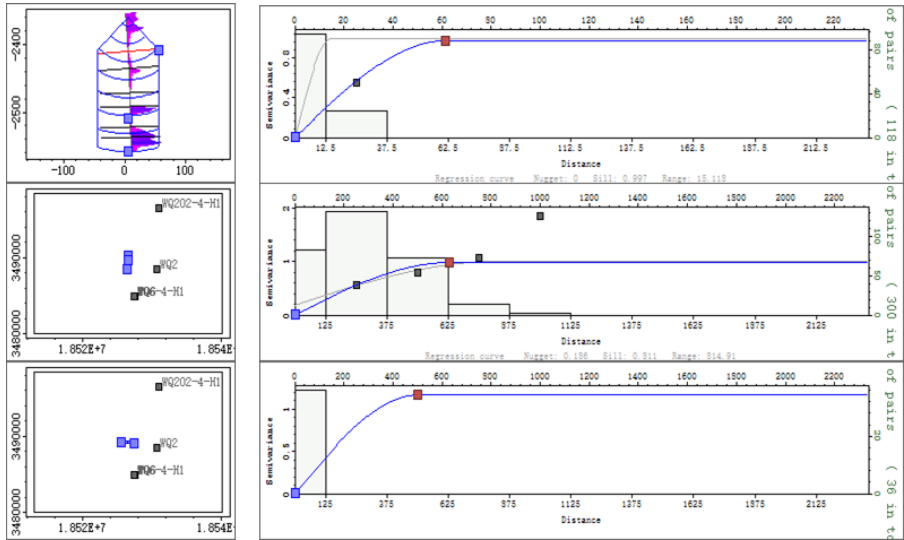


Figure 13. Data analysis diagram of the variation function
图 13. 变差函数数据分析图

再采用优势相控制的序贯高斯模拟方法。首先对孔隙度、渗透率及含气饱和度采取数据转换分析，然后再进行变差函数分析(表 3)。优势储层分类相控建模的特色就是按照不同层位不同相带分别进行变差函数拟合。常规的变差函数模型有指数模型、高斯模型、球状模型。本次建模采用的是高斯模型(图 13)。

Table 3. Attribute model range setting table
表 3. 属性模型变程设置表

属性	储层类型	I 类储层				II 类储层				III 类储层			
	层位	主变程(m)	次变程(m)	垂向变程(m)	主方位(°)	主变程(m)	次变程(m)	垂向变程(m)	主方位(°)	主变程(m)	次变程(m)	垂向变程(m)	主方位(°)
孔隙度	4 砂	12,000	5500	35	23	10,000	3000	28	23	7000	2000	15	23
	1 砂	15,000	8000	24	43	12,000	5000	20	43	8000	3000	13	43
渗透率	4 砂	10,000	5500	35	23	8000	3000	28	23	4000	1500	15	23
	1 砂	12,000	8000	24	43	9500	2000	20	43	6000	2000	13	43
含气饱和度	4 砂	10,000	5500	35	23	8000	3000	28	23	4000	2000	15	23
	1 砂	12,000	8000	24	43	9500	5000	20	43	6000	3000	13	43

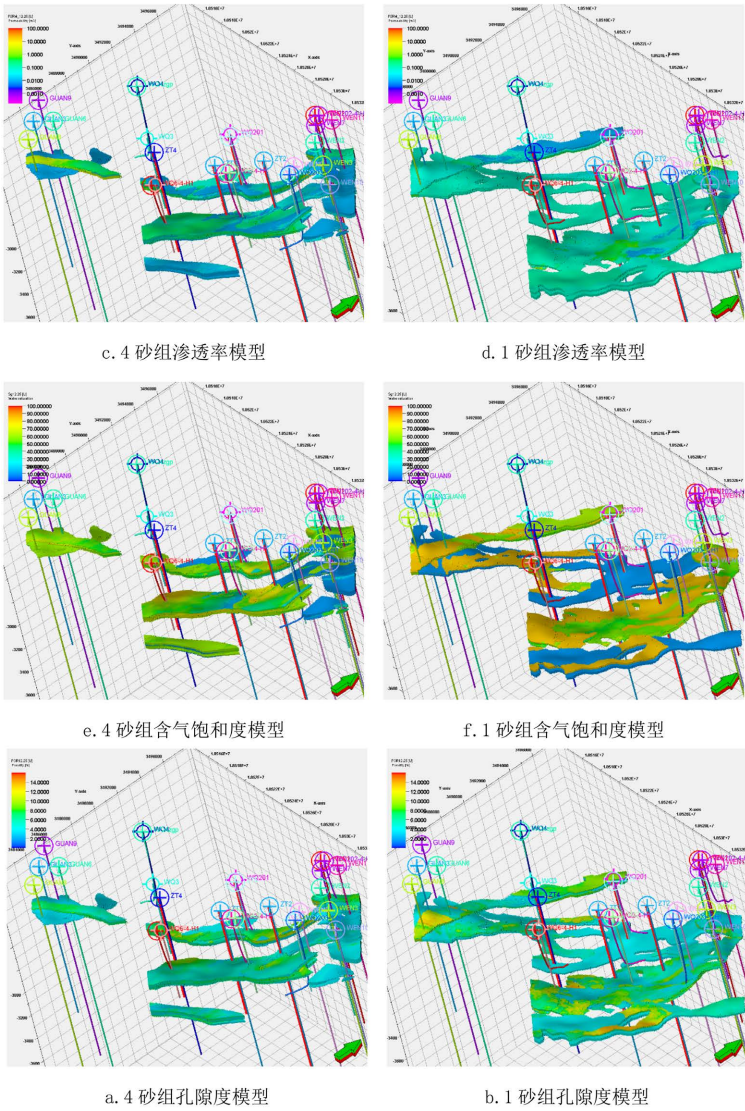


Figure 14. Three-dimensional layout of the filtered attribute model
图 14. 属性模型滤后三维展布图

通过对建立的储层属性模型进行统计,发现区内砂一段 1 砂组的平均孔隙度为 7.1%,平均渗透率为 0.1 mD,平均含气饱和度为 58%,4 砂组平均孔隙度为 6.8%,平均渗透率为 0.08 mD,平均含气饱和度为 54% (图 14)。

5. 结论

采用多种方法质控,构造模型整体精度满足地质研究及后期油藏数值模拟需要。基于砂体展布物性特征及试气试采动态资料,将储层由好到差分为 I、II、III 三类,在此基础上,利用变差函数进行空间相关性分析,以地震属性体及沉积相模型协同约束,完成优势相建模。并以优势储层模型、孔隙度、AVO 属性体协同约束,建立储层物性模型。区内沙一段 1 砂组平均孔隙度为 7.1%,平均渗透率为 0.1 mD,4 砂组平均孔隙度为 6.8%,平均渗透率为 0.08 mD。

基金项目

重庆科技大学研究生创新计划项目(YKJCX2420117)。

参考文献

- [1] 贾超. 基于虚拟井约束的致密砂岩储层建模方法[J]. 中国矿业, 2019, 28(S1): 289-293.
- [2] 杨雨, 谢继容, 曹正林, 等. 四川盆地天府气田沙溪庙组大型致密砂岩气藏形成条件及勘探开发关键技术[J]. 石油学报, 2023, 44(6): 917-932.
- [3] 陈麒玉, 荀磊, 崔哲思, 等. 三维地质建模技术的最新进展和发展趋势[J]. 地质科技通报, 2025, 44(3): 373-387.
- [4] 姜茜夫. 地震反演约束的三维地质建模研究[D]: [硕士学位论文]. 大庆: 东北石油大学, 2023.